

Samuli Lassila

Combine-taajuusmuuttajakokoonpanolinjan vaiheistus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

28.12.2015

Alkulause

Tämä insinöörityö tehtiin ABB Oy:lle. Haluan kiittää erityisesti työn ohjaajaa ABB:n laatu- ja kehitysinsinööri Timo Kososta erinomaisesta ohjauksesta ja aiheen antamisesta. Lisäksi kiitän tuotantolinjan päällikkö Tero Tiaista mahdollisuudesta tehdä insinöörityö ABB:lle. Kiitän myös työn ohjaavaa opettajaa yliopettaja Arto Haapaniemeä erinomaisesta työn ohjauksesta.

Haluan kiittää kaikkia tuotantolinjan asentajia sekä System Modules -yksikön toimihenkilöitä yhteistyöstä. Kiitän työntarkkailija Mika Kilgastia opastuksesta kelloaikatutkimuksissa. Yhteisesti haluan kiittää kaikkia työhön osallistuneita.

Helsingissä 28.12.2015

Samuli Lassila

Tekijä Otsikko	Samuli Lassila Combine-taajuusmuuttajakokoonpanolinjan vaiheistus
Sivumäärä Aika	51 sivua + 6 liitettä 28.12.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Laatu- ja kehitysinsinööri Timo Kosonen, ABB Oy Yliopettaja Arto Haapaniemi, Metropolia AMK
<p>Tämä insinöörityö tehtiin ABB Oy:lle. Työ käsittää taajuusmuuttajamoduuleiden kokoonpanolinjan uudistusehdotuksen, jossa suunniteltiin vaiheistus loppukokoonpanoon, sekä kar- toitettiin tarvittavien osakokoonpanotyöpisteiden määrä. Lisäksi työssä selvitettiin viiden val- mistusmäärältään ja asennustekniikaltaan toisistaan poikkeavan moduulimallin kokoonpa- non toteuttamista samalla linjalla.</p> <p>Nykyisellä linjalla valmistetaan kahta moduulimallia. Linjan loppukokoonpano tehdään yh- dessä osassa, mikä ei ole ideaalitila tuotannonvirtauksen kannalta. Loppukokoonpanon vai- heistuksen avulla pyrittiin lisäämään linjan virtaustehokkuutta ja kapasiteetin joustavuutta sekä nopeuttamaan uusien työntekijöiden koulutusta linjalla työskentelyyn.</p> <p>Aluksi selvitettiin kokoonpanolinjan nykytila. Selvitys tehtiin kelloaikatutkimusta, arvovirtaku- vausta, työntekijöiden haastatteluja sekä Leanin periaatteita käyttäen. Selvityksen perus- teella luotiin vaiheistusvaihtoehdot linjalla valmistettaville tuotteille. Protovaiheen moduulin vaiheistuksen suunnittelu tehtiin suunnittelijoilta saatujen työkuviin perusteella sekä haas- tattelemalla asentajia.</p> <p>Samalla linjalla valmistettaviksi soveltuvia moduulimalleja todettiin olevan kolme. Selvityk- sen perusteella moduulit voidaan valmistaa samalla linjalla ilman tuotantoa haittaavia komp- romisseja.</p> <p>Työn tuloksia käytetään kokoonpanolinjan muutosprojektin osana. Projektia voidaan jatkaa layout-suunnittelulla työn tulosten pohjalta. Ennen layoutin suunnittelua protovaiheen mo- duulin tiedot tulee tarkentaa. Tämän jälkeen voidaan suunnitella moduulille lopullinen vai- heistus. Työn yhteydessä havaittujen epäkohtien korjaamiseksi esitettiin kehitysehdotuksia, joiden pohjalta suunnitellut hankinnat voidaan toteuttaa.</p>	
Avainsanat	tuotanto, vaiheistus, Lean, taajuusmuuttaja, kokoonpanolinja

Author(s) Title	Samuli Lassila Phasing of Combine Frequency Converter Assembly Line
Number of Pages Date	51 pages + 6 appendices 28 December 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Timo Kosonen, Quality and Development Engineer Arto Haapaniemi, Principal Lecturer, Metropolia University of Applied Sciences
<p>This Bachelor's thesis was assigned by ABB Ltd. The study includes a new assembly line proposal for converter modules, where the final assembly phasing was planned and the required of needed part assembly work stations was examined. Also, the possibility of producing five module models with different production quantities and assembly techniques on the same assembly line was examined in this study.</p> <p>At the moment, two module models are produced on the assembly line. The final assembly is made out of one part which is not ideal for the production flow. The goal of the study was to increase the flow efficiency and the capacity flexibility of the final assembly line by developing the phasing of the line. In addition, the aim was to train new employees faster in their assembly line duties.</p> <p>Firstly, the current state of the assembly line was examined. The research was conducted with time investigation, value stream mapping, employee interviews and the principles of the Lean. With the results of the study, options for the phasing of the products at the assembly line were created. The planning of the prototype phase module phasing was conducted by examining technical drawings and by interviewing employees.</p> <p>It was discovered that three module models could be produced on the same assembly line. According to the results, these module models can be manufactured on the same assembly line without any problematic compromises.</p> <p>The data of the project will be used as a part of the assembly line development project. The results show that the project can be continued to the layout design. Before this, the information of the prototype phase module must be clarified. After this task is carried out, the final phasing for the module can be completed. To correct the detected defect, development suggestions were made and on their basis, the designed acquisitions can be made.</p>	
Keywords	production, phasing, Lean, frequency converter, assembly line

Sisällys

Lyhenteet ja termit

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tavoitteet	1
2	ABB Oy	2
2.1	Yhtiö	2
2.2	Taajuusmuuttajat	2
3	Lean ja JIT	3
3.1	Lean	3
3.1.1	Läpimeno- ja tahtiaika	4
3.1.2	Virtaus- ja resurssitehokkuus	4
3.1.3	Arvovirtakuvaus	5
3.1.4	Jatkuva parantaminen	6
3.2	JIT – Just In Time	7
3.2.1	Imuohjaus	8
3.2.2	Työntöohjaus	9
4	Tuotannonohjaus ABB:llä	9
4.1	Tuotannonohjauksen tavoitteet	9
4.2	Tuotannon tuotekohtaisen valmistuksen ohjaus	12
5	Tuotteiden A ja B kokoonpanolinjan nykytila	12
5.1	Linjan toimintaperiaate	12
5.2	Layout	18
5.3	Työntutkimus	18
5.4	Arvovirtakuvaus	21
5.5	Kehitysehdotukset	26

6	Tuotteiden A ja B kokoonpanolinjan tavoitetilä	26
6.1	Vaiheistus	26
6.1.1	Kaksivaiheinen vaiheistus	27
6.1.2	Kolmevaiheinen vaiheistus	32
6.2	Arvovirtakuvaus	39
6.3	Ongelmakohdat	41
7	Tuotteen C nykytilä ja vaiheistus	42
7.1	Kokoonpanon rakenne	42
7.2	Kokoonpanon vaiheistuksen suunnittelu	44
7.3	Ongelmakohdat	45
8	Tulokset ja tavoitteiden saavuttaminen	46
8.1	Vaiheistuksen toteutus	47
8.2	Vaiheistuksen hyödyt	47
8.3	Tuotteiden rajaus	48
8.4	Layout-ehdotus	49
8.5	Kehitysehdotukset	50
9	Yhteenveto ja päätelmät	51
9.1	Kuvaus työstä	51
9.2	Työn onnistuminen	51
9.3	Kehittämiskohteet ja jatkotoimenpiteet	51
	Lähteet	52

Liitteet (vain työn tilaajan käyttöön)

- Liite 1. Kelloaikatutkimukset
- Liite 2. Arvovirtakuvaukset (Value Stream Mapping)
- Liite 3. Kirjallinen haastattelu, toimihenkilöt
- Liite 4. Kirjallinen haastattelu, asentajat
- Liite 5. Työohjeet
- Liite 6. Tulevaisuuden arvovirtakuvaukset (Future Stream Mapping)

Lyhenteet ja termit

FSM	Tulevaisuuden arvovirtakuvaus (Future Stream Mapping)
Hukka	Arvoa tuottamaton aika
Jigi	Asennusta helpottava apuväline
JIT	Just In Time tuotantofilosofia - tavoitteena on tehdä töitä vain todellisen tarpeen mukaan
JP	Jatkuva parantaminen
Kaizen	Jatkuva parantaminen
Lean	Toyotan tuotantosysteemiin perustuva tuotantofilosofia
Puskuri	Keskeneräisen tuotannon varastointialue
VSM	Arvovirtakuvaus (Value Stream Mapping)

1 Johdanto

1.1 Tausta

ABB:n Pitäjänmäellä Drivesin System Modules-yksikössä valmistetaan taajuusmuuttajamoduuleita. Tämä insinöörityö käsittelee tuotteiden A, B ja C Combine-kokoonpanolinjan loppukokoonpanon vaiheistusta.

Nykyinen A:n ja B:n loppukokoonpano tehdään yhtenä työvaiheena, mikä ei ole ideaalitila tuotannon virtauksen kannalta. Tulevaisuudessa samalla linjalla tullaan valmistamaan myös tuotetta C, mikä tulee ottaa huomioon linjan suunnittelussa.

Työssä kartoitetaan marginaalituotteiden D ja E vaiheistetun valmistuksen toteutuksen kannattavuutta samalla kokoonpanolinjalla. Insinöörityö tehdään valmistelevana osana ABB:n tuotannonkehitysprojektia.

Työssä perehdytään A- ja B-moduuleiden kokoonpanoon tarkasti työntutkimusten avulla kerättyjen tietojen pohjalta. Protovaiheessa olevan tuotteen C osalta luodaan karkeat suuntaviivat vaiheistuksen toteutukselle, koska protovaiheen moduulille ei voida tehdä tarkkaa työntutkimusta. Työssä käytetyt työkalut ja periaatteet käydään läpi työnosassa Lean ja JIT.

1.2 Tavoitteet

Insinöörityön tavoitteena on taajuusmuuttajien kokoonpanolinjan uudistusehdotus, jossa suunnitellaan uuden kokoonpanolinjan vaiheistus loppukokoonpanoon, sekä kartoitetaan tarvittavien osakokoonpanotyöpisteiden määrä. Vaiheistuksen avulla pyritään tehostamaan linjan toimintaa, lisäämään kapasiteetin joustavuutta yksikön sisällä, sekä helpottamaan työntekijöiden koulutusta linjalla työskentelyyn.

Kokoonpanolinjalla on tällä hetkellä tilojen fyysisen koon puolesta huomattavia rajoitteita, mikä on johtanut työergonomiassa heikentäviin kompromisseihin. Myös näihin työergonomian kehitystoimenpiteisiin ehdotetaan ratkaisuja.

2 ABB Oy

2.1 Yhtiö

ABB on maailman johtava teollisuuden moottoreiden ja taajuusmuuttajien, tuuliturbiinigeneraattoreiden sekä sähköverkkojen toimittaja, joka työllistää noin 140 000 henkilöä 100 maassa. Yhtiön liikevaihto on noin 2,1 miljardia euroa. Yhtiö panostaa tuotekehitykseen, ja sillä on yhteensä seitsemän tutkimuskeskusta ympäri maailmaa. Vuonna 2014 yhtiö panosti tuotekehitykseen ja tutkimukseen noin 204 miljoonaa euroa. Tuotekehitykseen panostamisen ansiosta yrityksellä on runsaasti maailmalla tunnettuja innovaatioita. [1.]

ABB Suomessa

ABB toimii Suomessa 21 paikkakunnalla ja työllistää noin 5200 ihmistä. Se on yksi Suomen suurimmista teollisuuden työnantajista ja pääkaupunkiseudun suurin. Yrityksen suurimmat tehtaat sijaitsevat Helsingissä, Vaasassa ja Porvoossa. [1.]

ABB:n Helsingin Pitäjänmäen tehtaalla valmistetaan moottoreita, generaattoreita ja taajuusmuuttajia. Pitäjänmäen tehdas tarjoaa myös energianhallinta-, linjakäyttö-, sähköistys- ja instrumentointiratkaisuja, tehdastietojärjestelmiä sekä kunnossapitopalveluita. [1.]

ABB:n Drives-yksikössä valmistetaan ja kehitetään taajuusmuuttajia sekä niiden ohjelmistotyökaluja. Myös taajuusmuuttajien myynti, markkinointi sekä tutkimus ja tuotekehitys kuuluvat yksikön vastualueelle. Pitäjänmäen Drives-yksikkö työllistää noin 1300 henkilöä. [2.]

2.2 Taajuusmuuttajat

Teollisuuden sähköenergian tarve on noin 40 % maailman sähköenergiasta. Sähkömoottorit kuluttavat tästä noin kaksi kolmasosaa. ABB:llä valmistettavien portaattomasti säädettävien taajuusmuuttajien avulla voidaan energiankulutus jopa puolittaa. Vuonna 2014 ABB:n asentamien taajuusmuuttajien avulla säästettiin sähköä 445 TWh. [2.]

System Modules-yksikössä valmistettavat taajuusmuuttajamoduulit valmistetaan asiakkaan tilausten mukaan. Valmiit moduulit asennetaan taajuusmuuttajakaappeihin. Kaappeja käytetään erilaisissa teollisuuden sovelluksissa energiatehokkuuden parantamiseksi. [3.]

Tarvittavan käytön mukaan tuote saadaan yksilöityä juuri asiakkaan tarpeita vastaavaksi. Tämä onnistuu sovellussuunnittelun avulla, sekä lisäämällä laitteisiin ominaisuuksia, kuten vahinkokäynnistyksen esto tai pääkontaktori. Asiakkaan tarpeen mukaan vakiotuotteeseen on saatavilla myös esimerkiksi lisäkaappeja asiakkaan omia laitteita varten. [3.]

Moduuleja on kahdenlaisia, yhden kokonaisen taajuusmuuttajan moduuleja ja erillisiä syöttö- ja vaihtosuuntaajamoduuleita. Erillismoduulien avulla voidaan käyttää yhtä yhteistä virransyöttöä ja yhteisiä jarrutusresursseja useassa taajuusmuuttajassa. [3.]

3 Lean ja JIT

Lean ja JIT ovat Toyotan tuotantosysteemiin perustuvia tuotantofilosofioita. Työssä käsitellään vain periaatteet ja työkalut, jotka ovat oleellisia työn toteutuksen, kokoonpanolinjan suunnittelun tai linjan toiminnan ymmärtämisen kannalta.

3.1 Lean

Lean tarkoittaa alun perin Toyotan tuotantosysteemiin perustuvaa tuotantofilosofiaa. Filosofia perustuu kokonaisvaltaiseen Leanin toimintaperiaatteiden avulla toteutettavaan tuotannon jatkuvaan kehittämiseen, jonka toteutuksessa olennaista on koko organisaation sitoutuminen yrityksen toimintatapoihin.

Leanin perustana toimivan Toyota Production Systemin perustajan Taiichi Ohnon mukaan Leanin perusajatus kiteytyy lauseeseen: ”Katsotaan aikajanaa siitä hetkestä, kun asiakas antaa meille tilauksen, siihen pisteeseen, kun keräämme rahat. Me pienennämme tuota aikajanaa poistamalla lisäarvoa tuottamattoman hukan.” [4.]

3.1.1 Läpimeno- ja tahtiaika

Läpimenoajalla kuvataan työn suorittamiseen kuluvaan aikaan. Aika koostuu arvoa lisäävästä ajasta ja arvoa lisäämättömästä ajasta eli hukasta. Työn tuottavuuden maksimimiseksi tulee hukan osuus minimoida. Hukan minimoinnilla myös läpimenoaika lyhenee, mikä näkyy virtaustehokkuuden kasvuna. Virtaustehokkuuden lisääminen läpimenoaika lyhentämällä on yksi Leanin keskeisistä tavoitteista. [5.]

Tahtiajalla kuvataan aikaa, joka saa kulua yhden lopputuotteen valmistukseen. Tahtiaika voidaan ajatella tahtina, jolla asiakkaat ostavat tuotteen. [4.] Mikäli tahtiaika on 22 minuuttia, tulee tuotantolinjalta valmistua tuote 22 minuutin välein, jotta asiakkaiden luoma kysyntä saadaan tyydytettyä.

3.1.2 Virtaus- ja resurssitehokkuus

Virtaus- ja resurssitehokkuuden maksimoinnilla pyritään korkeaan asiakas- ja tuottajatytyväisyyteen. Saavuttaakseen korkean asiakas- ja tuottajatytyväisyyden tulee tuotannon vaihtelun olla vähäistä ja hallittua.

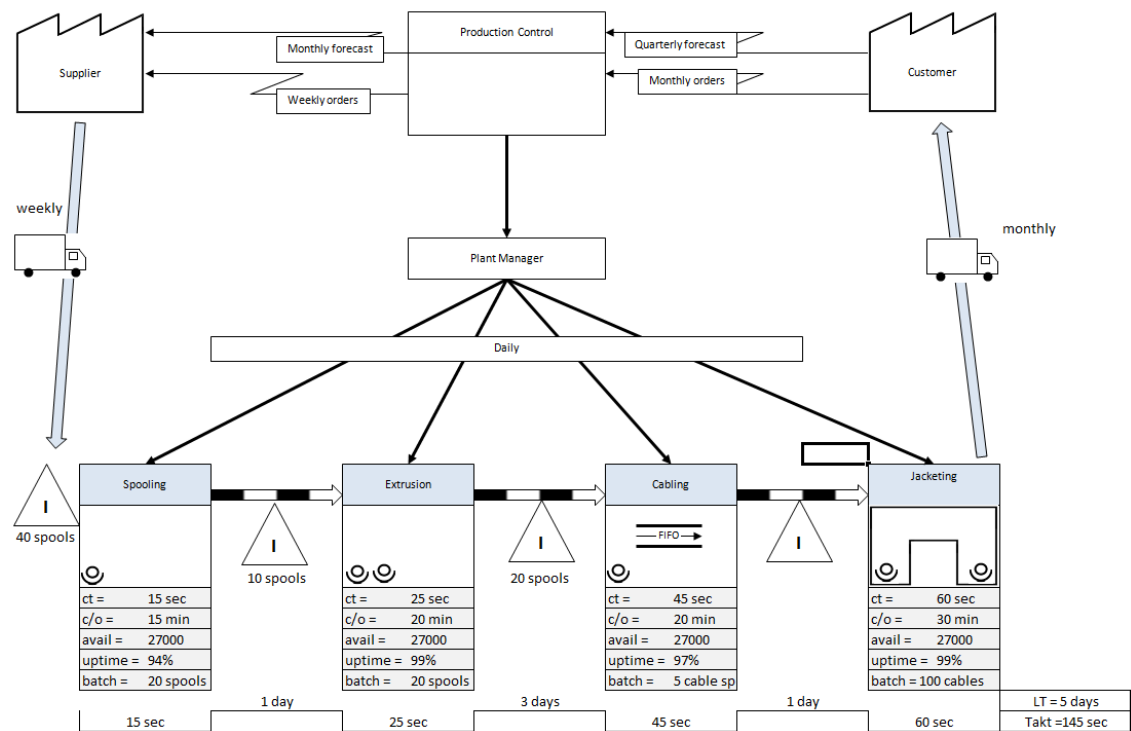
Virtaustehokkuus mittaa tuotteen jalostumista määriteltynä ajanjaksona. Ajanjakso alkaa tarpeen tunnistamisesta ja päättyy tarpeen tyydyttymiseen. Virtaustehokkuus on käytännössä arvoa tuottavien toimintojen summien suhde läpimenoaikaan. Prosessin arvoa tuottavan ajan ollessa pitkä suhteessa läpimenoaikaan prosessin virtaustehokkuus on hyvä. Tasainen ja hallittu virtaus on virtaustehokkuuden edellytys. [6.]

Resurssitehokasta tuotantoa on käytetty teollisuuden kehityksen pohjana yli 200 vuoden ajan. Se on toiminut tehokkuustarkastelun luonnollisimpana ja helposti havainnollistettavana lähtökohtana. Resurssitehokas tuotanto tarkoittaa resurssien maksimaalista hyödyntämistä tuotannossa. Tehokkuus mitataan resurssien hyödyntämisellä suhteessa määritettyyn ajanjaksoon. [6]

Resurssit koostuvat henkilöresursseista ja fyysisistä resursseista. [6.] Kokoonpanolinjalla henkilöresurssin muodostavat työntekijät ja fyysiset resurssit koostuvat työkaluista, työtiloista ja moduulinosista. Henkilöresurssin resurssitehokkuutta voidaan siis mitata työn jalostamiseen päivän aikana käyttämän ajan suhteella työssäoloaikaan.

3.1.3 Arvovirtakuvaus

Leanin ideologioihin pohjautuvia tuotannon prosessien kehittämisen menetelmiä on paljon. Arvovirtakuvaus eli VSM (Value Stream Mapping) on yleisesti tuotannonkehityksessä käytetty menetelmä. Menetelmässä prosessin eri vaiheet, yhteydet, tapahtumat, varastojen määrät ja prosessien ajat kuvataan yhdelle kaaviolle, kuten kuvassa 1. Kuvauksen luominen auttaa prosessin yksinkertaistamisessa sekä kokonaisuuden hahmottamisessa.



Kuva 1. Arvovirtakuvaus (VSM) [7].

Arvovirtakuvausta käytetään kuvaamaan prosessin nykytilaa. Kuvauksen pohjalta voidaan hahmottaa tavoitetilä eli FSM (Future Stream Mapping) ja suunnitella menetelmät siihen pääsemiseksi. Ilman prosessien selkeää kuvausta johdonmukainen ja kaikki prosessin osat kattava systemaattinen kehitystyö on lähes mahdotonta. Kehitystyön pohjaksi tarvitaan siis arvovirtakuvauksen kautta saatava käsitys nykytilasta. [8.]

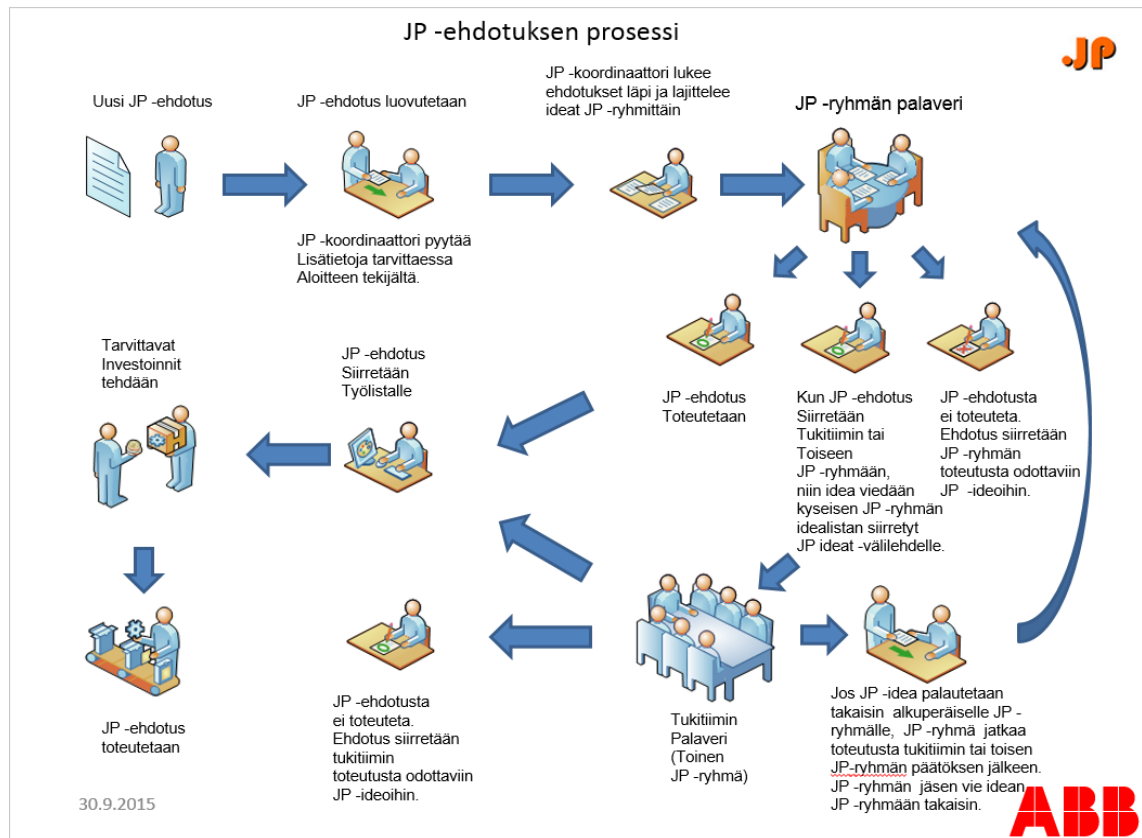
Insinöörityössä käytetty arvovirtakuvaus on hieman alkuperäisestä konseptista supistettu versio, mikä kattaa vain kokoonpanolinjan osuuden ilman koestamoa, logistiikkaa ja muita tukitoimintoja. Kuvausta käytetään tässä työssä kokoonpanolinjan kokoonpanoprosessin visualisoimiseen.

3.1.4 Jatkuva parantaminen

Jatkuva parantaminen eli Kaizen tarkoittaa työyhteisössä tapahtuvaa toiminnan jatkuvaa parantamista. Kaizenin onnistunut toteutus vaatii yrityksen kaikkien työntekijöiden sitoutumista oman työnsä jokapäiväiseen parantamiseen. Kaizenin avulla ihmiset saadaan antamaan ideoita organisaation käyttöön. [4.]

Jatkuva parantaminen ABB Drives System Modules

Jatkuva parantaminen on kuulunut ABB:n System Modulesin kehitystyöhön vuodesta 2011 alkaen. JP-ideoita on toteutettu näiden vuosien aikana yli 3000 kappaletta. Yksikön kaikki työntekijät voivat luoda JP-ehdotuksia. Kuvassa 2 on kuvattu JP-ehdotuksen prosessi vaiheittain. [9.]



Kuva 2. Jatkuva parantaminen-prosessin kuvaus [9].

Parannusehdotukset syötetään ehdotuksia varten luotuun tietokantaan, joka on kaikkien työntekijöiden käytettävissä. JP-koordinaattori tulostaa tietokantaan syötetyt JP-ideat ja käy ehdotukset yksitellen läpi, sekä pyytää tarvittaessa lisätietoja aloitteen tekijältä. Koordinaattorin läpikäymät ehdotukset menevät JP-ryhmien käsiteltäviksi. [9.]

JP-ryhmä on jatkuvasti muuttuvalla kokoonpanolla toimiva ryhmä, joka koostuu työnjohtajasta, JP-koordinaattorista ja kolmesta muutaman viikon välein vaihtuvasta ideoita koskevan linjan asentajasta. Jokaisella kokoonpanolinjalla on oma JP-ryhmänsä. [9.]

Ryhmä käy uudet, keskeneräiset ja toteutuneet ideat läpi kerran viikossa järjestettävässä JP-palaverissa. Palaverissa päätetään ideoiden toteutuksesta, sekä sovitaan idean toteuttajat ja arvioidaan toteutusajankohta. Myös toteutetut ideat merkitään tehdyiksi. Jatkuva parantaminen toimii valmiin kokoonpanolinjan suurimpana jatkokehitysmenetelmänä. [9.]

3.2 JIT – Just In Time

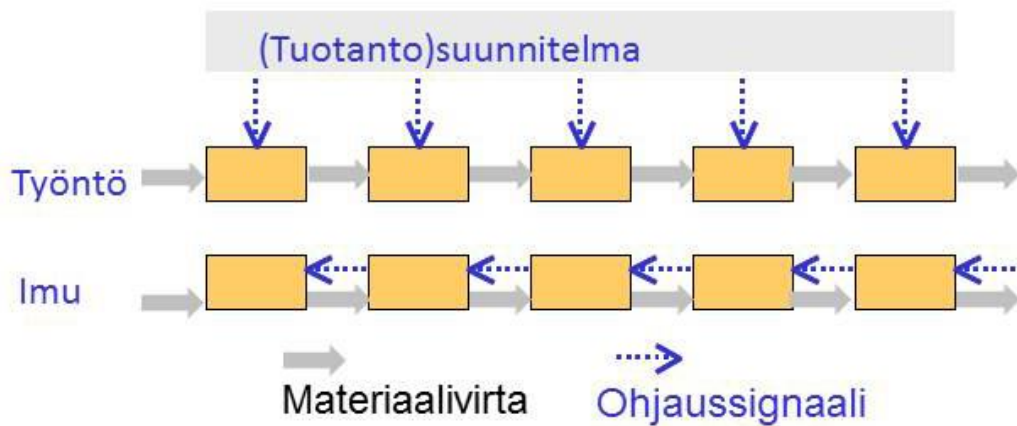
Just In Time on yksi Lean-ajatteluun rinnastettava käsite. Tuotantofilosofian tavoitteena on tehdä töitä vain todellisen tarpeen eli asiakaskysynnän mukaan. JIT:n toteuttamiseen pyritään nollavarastoilla, lyhyellä läpimenoajalla, virheettömyydellä, virtaustehokkaalla tuotannolla, tuotannon joustavuudella ja hukan minimoinnilla. [10.]

JIT:n kokonaisvaltainen toteuttaminen vaatii tuotannon ja koko yrityksen osa-alueiden sitoutumista yhteiseen tavoitteeseen. Osa-alueet kattavat tuotesuunnittelun, prosessien suunnittelun, ihmiset sekä tuotannonsuunnittelun ja -ohjauksen. [10.]

Tuotesuunnittelun näkökulmasta tuotteiden tulee olla mahdollisimman optimoituja tuotantosoluissa tai -linjalla valmistukseen. Tämän mahdollistavat moduulivalmistukseen soveltuva tuoterakenne sekä standardiosat. [10.]

Prosessien suunnittelun avulla pyritään asetusajojen vähentämiseen, eräkokojen pienentämiseen ja keskeneräisen tuotannon vähentämiseen tuotannossa. Työvoiman tulee ideaalitilassa koostua moniosaajista. Moniosaajat mahdollistavat työnkierron, mikä lisää kapasiteetin joustavuutta. [10.]

Tuotannon suunnittelussa ja -ohjauksessa pyritään tuotannon tasaisuuteen. Imuohjaus on JIT -tuotantofilosofian toteuttamisessa ideaali ohjaustapa. Imuohjauksen käyttäminen kokonaisvaltaisesti tuotannossa on kuitenkin harvinaista. Yleensä tuotanto ohjautuu imu- ja työntöohjauksen periaatteita yhdistelevällä kyseiselle tuotannolle optimoidulla tavalla. Tuotannon imu- ja työntöohjauksen erot on havainnollistettu kuvassa 3. [10.]



Kuva 3. Imu- ja työntöohjauksen ero [10].

3.2.1 Imuohjaus

JIT- tuotantofilosofiassa tavoitteena on tehdä töitä vain todellisen tarpeen mukaan. Kyseinen toimintatapa ei ole kuitenkaan realistinen, joten usein tuotanto pyritään toteuttamaan imuohjauksella. Imuohjaus on tuotannonohjausmenetelmä, joka perustuu varastojen ja keskeneräisen tuotannon määrän rajoittamiseen, sekä asiakastilausten mukaiseen valmistukseen. [10.]

Imuohjauksessa tuotteen valmistuspyyntö lähtee valmistusketjun loppupäästä, jonka viimeistä vaihetta ohjaa asiakas. Imuohjauksen toteutus toimii parhaiten tasaisessa tuotannossa, jossa varastojen täydennykset saadaan tehtyä nopeasti. [10.]

3.2.2 Työntöohjaus

Työntöohjatussa valmistuksessa valmistus tapahtuu ennakkoon laaditun suunnitelman mukaan. Ennalta tehty suunnitelma siis ”työntää” tilaukset läpi tuotannosta. Työntöohjatussa tuotannossa keskeneräisen tuotannon ja varaston määrää ei ole rajoitettu. Ohjauksen ongelmaton toiminta vaatii tuotantosuunnitelman ja toteutuvan tuotantotilanteen yhdenmukaisuutta. Mikäli suunnitelma ja toteuma eivät vastaa toisiaan ongelma realisoituu ylituotantona. [11.]

4 Tuotannonohjaus ABB:llä

Tuotannonohjaus on tärkeässä osassa kokoonpanolinjan toiminnan suunnittelussa. Tuotannon ohjauksen tulee toimia linjan tavoitteiden edellyttämällä tavalla.

4.1 Tuotannonohjauksen tavoitteet

Tuotannonohjauksen tavoitteena ABB:llä on asiakas- ja tuottajatytyväisyyden maksimointi. Tuotannon näkökulmasta asiakastytyväisyys pyritään toteuttamaan lyhyillä toimitusajoilla ja ensiluokkaisella laadulla.

Toimitusaikojen lyhentämiseksi tuotantoa tasoitetaan järjestelmällisesti tuotannosuunnittelun toimesta. Tasoitettun tuotannon avulla tuotantokapasiteetin ylittävät tuotantopiikit saadaan tasoitettua. Tuotantopiikkien tasoittaminen on edellytys kokoonpanolinjan virtaustehokkaalle toiminnalle.

Tuotannonohjauksessa on imuohjauksen ja JIT-tuotantofilosofian piirteitä. Valmistus suoritetaan asiakastilausten mukaan ja vain todelliseen tarpeeseen. Tarpeet ennakoidaan menekkiennusteiden avulla.

Tuotteiden menekkiennusteet

Uuden kokoonpanolinjan suunnittelun kannalta olennaista on tietää tuotteiden tulevaisuuden menekkiennusteet. Ennusteita tarvitaan, jotta tuotantoprosessi kykenee reagoimaan tuleviin menekinmuutoksiin ennakoivasti. Ennakointi auttaa kapasiteetin ja materiaalivarastojen sopeuttamisessa tuotannon tarpeita vastaaviksi. [11.]

Ennusteiden perusteella voidaan kartoittaa vaiheistuksen tarpeellisuutta valmistuksessa tuotekohtaisesti. Yksikön ennusteet pohjautuvat myyntiorganisaation euromääräisiin tulevaisuuden ennusteisiin ja moduuleiden aikaisempaan menekkijakaumaan. [12.]

Euromääräisten tulevaisuuden ennusteiden avulla saadaan arvioitua koko yksikön myynti. Moduuleiden myynnin historiatietojen avulla saadaan laskettua prosentuaalinen osuus tuotekohtaisesti, sekä tuotteiden keskimääräinen myyntihinta. Keskimääräisen myyntihinnan avulla prosentuaalinen euromäärä voidaan muuttaa moduulimääräksi. Ennusteiden laskentaperiaate on esitetty kaavassa 1. [12.]

$$\frac{m * p}{k} = E \quad (1)$$

k on moduulin keskihinta

m on yksikön kokonaismyynti

p on moduulimallin osuus prosenttikertoimena

E on moduulimääräinen ennuste

A:n ja B:n ennusteet

Tuotteiden A ja B valmistus siirtyy tulevaisuudessa vanhasta A-tuotteesta B-tuotteeseen painottuvaksi, kuten taulukosta 1 voidaan havaita. Lopulta vanha tuote ajetaan kokonaan alas ohjaamalla asiakkaat uuden tuotteen pariin hinnoittelun ja toimitusajan pidentämisen avulla.

Taulukko 1. A- ja B-tuotteiden ennusteet [9].

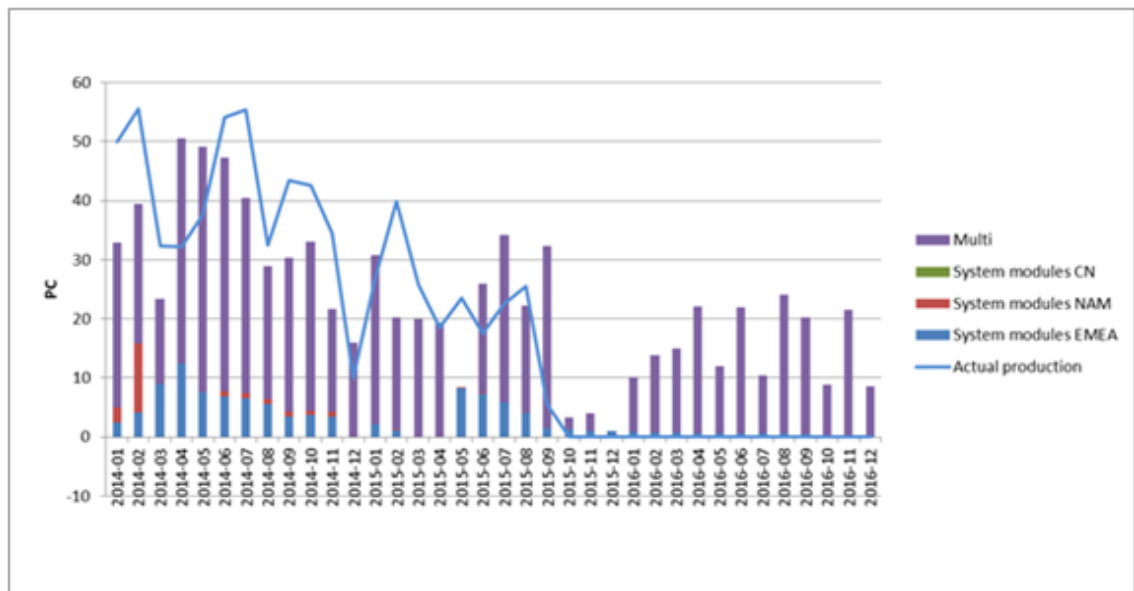
Modulia/viikko										
Tuote	2015-09	2015-10	2015-11	2015-12	2016-01	2016-02	2016-03	2016-04	2016-05	2016-06
A	46	38	37	36	34	34	32	29	26	30
B	18	33	24	24	36	42	42	43	47	49
Yhteensä	64	71	61	60	70	76	74	72	73	79

C:n ennusteet

Protovaiheessa olevan C-tuotteen tuotanto tulee tulevaisuudessa olemaan keskimäärin noin 50 moduulia viikossa. Kyseessä on karkea arvio, mutta moduulimäärä toimii suuntaviivana uuden linjan suunnittelussa.

Marginaalituotteiden D ja E ennusteet

D:n tuotanto tulee kuvan 4 perusteella olemaan tulevaisuudessa noin 20 moduulia kuukaudessa. Tämä tarkoittaa käytännössä päivittäisen valmistustarpeen olevan alle yksi moduuli päivässä. Ennusteen perusteella voidaan D:n valmistus todeta kannattamattomaksi uudella Combine-linjalla.



Kuva 4. D:n menekkiennusteet kappaletta/kuukausi [9].

E:n volyymit ovat vaikeasti ennustettavissa ja tuotteen tulevaisuus on epävarma. Nykyisellään valmistettavan E-tuotteen tilalle on tulevaisuudessa tulossa toistaiseksi protovaiheessa oleva uusi tuote. Uuden tuotteen suuren eroavaisuuden vuoksi vaihteistuksen suunnitteluun ei ole perusteita.

4.2 Tuotannon tuotekohtaisen valmistuksen ohjaus

Nykyisellä kokoonpanolinjalla tuotannon tuotekohtaista vaihtelua ohjataan työnjohtajan toimesta. Tuotettavan moduulityypin vaihto tapahtuu työnjohdon ja tuotannonsuunnittelun parhaaksi katsomana ajankohtana.

Jokaiselle valmistettavalle moduulille on määritetty tuotannon suunnittelun toimesta asiakastilauksen mukainen päivämäärä, jolloin moduulin tulee olla valmis. Valmistettavista moduuleista muodostuu valmistuspäivien mukaan järjestelty työjono. Asentajat näkevät työjonon kokoonpanolinjan päätteiltä.

5 Tuotteiden A ja B kokoonpanolinjan nykytila

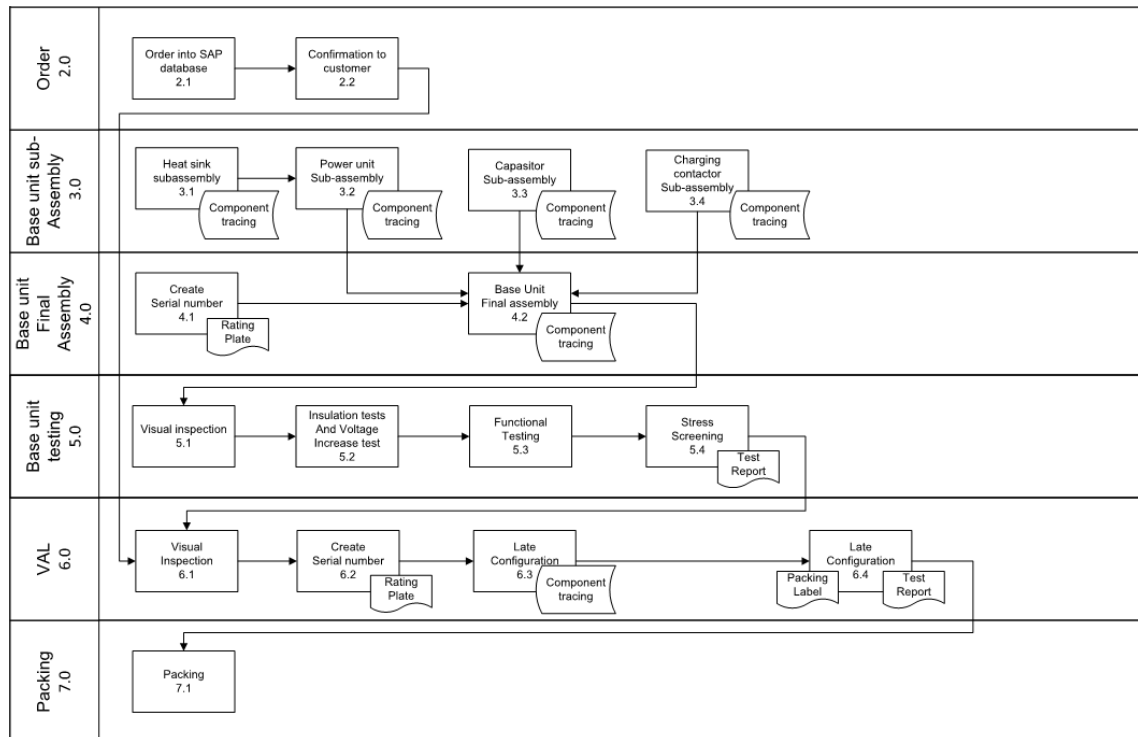
Tuotteiden A ja B tutkimukset on tehty nykyisellä kokoonpanolinjalla yhdessä linjan työntekijöiden kanssa. Tutkimuksia voidaan sarjatuotannon vuoksi pitää luotettavina.

Kokoonpanolinjalla valmistetaan tällä hetkellä taajuusmuuttajamoduuleita A ja B. Tuotetta A valmistetaan 242:ta ja tuotteesta B 12:ta eri moduulityyppiä. Tässä työssä suurimmat moduulityyppien vaihtelusta aiheutuvat vaihteistuksen suunnitteluun liittyvät vaihtelut asennusajoissa on otettu huomioon tutkimalla asennusteknisesti eniten toisistaan poikkeavat moduulityypit.

5.1 Linjan toimintaperiaate

Kokoonpanoon tarvittavat osat saapuvat alihankkijan varastolta tehtaalle varastohyllyihin, mistä tarvittavat osat kerätään kokoonpanolinjalle. Asennustyö suoritetaan kokoonpanolinjalla tuotantosolussa, minkä jälkeen moduuli toimitetaan koestamoon. Siellä moduulille tehdään tarvittavat tarkastukset ja koestukset laitteen toimivuuden varmistamiseksi.

Koestamosta tuote etenee jälkiasennukseen, jossa tuotteeseen asennetaan asiakkaan tilaamat lisätoiminnot. Jälkiasennuksesta moduuli viedään pakkaamoon, missä valmis laite pakataan ja lähetetään asiakkaalle. Kuvassa 5 on tuotteen B moduulivalmistuksen prosessikaavio. Tuote A kulkee tuotannossa saman prosessin mukaisesti. [9.]



Kuva 5. Tuotteen B prosessikaavio [9].

Kokoonpanolinjan työpisteet

Kokoonpanolinja on jaettu neljään osakokoonpanotyöpisteeseen ja kolmeen loppukokoonpanotyöpisteeseen. Jokaisella työpisteellä on pääte ja viivakoodinlukija osien jäljittämistä varten.

Tuote A työpiste 1

- tehoaste
- tehovastus

Tuote B työpiste 1

- tehoaste
- kiskopaketti

Kuvan 6 työpisteellä on tehoasteen ja tehovastuksen kokoonpanoon vaadittavat välineet.



Kuva 6. Työpiste 1.

Tuote A työpiste 2

- korttilevy
- AINT-kortti
- kontaktori (tarvittaessa)
- kondensaattoripaketti

Tuote B työpiste 2

- kondensaattoripaketti
- korttipaketti

Kuvan 7 työpisteellä on kondensaattoripaketin, korttilevyn, AINT-kortin ja kontaktorin koonpanoon vaadittavat välineet.



Kuva 7. Työpiste 2.

Tuotteet A ja B työpiste 3

- käytetään tarvittaessa osakokoonpanoihin

Kuvan 8 työpisteellä on valmius suorittaa työpisteiden 1 ja 2 osakokoonpanoja volyymin ollessa korkea.

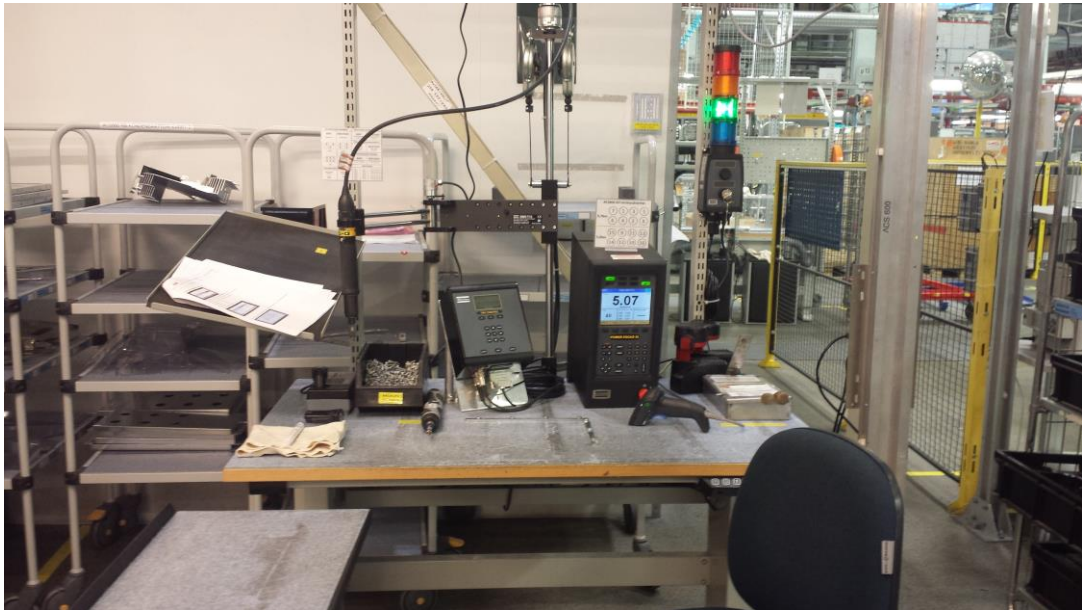


Kuva 8. Työpiste 3.

Tuotteet A ja B työpiste puhallin/IGBT

- puhallin
- IGBT-moduuli

Kuvan 9 työpisteellä tehdään puhaltimen ja IGBT-moduulin osakokoonpano.



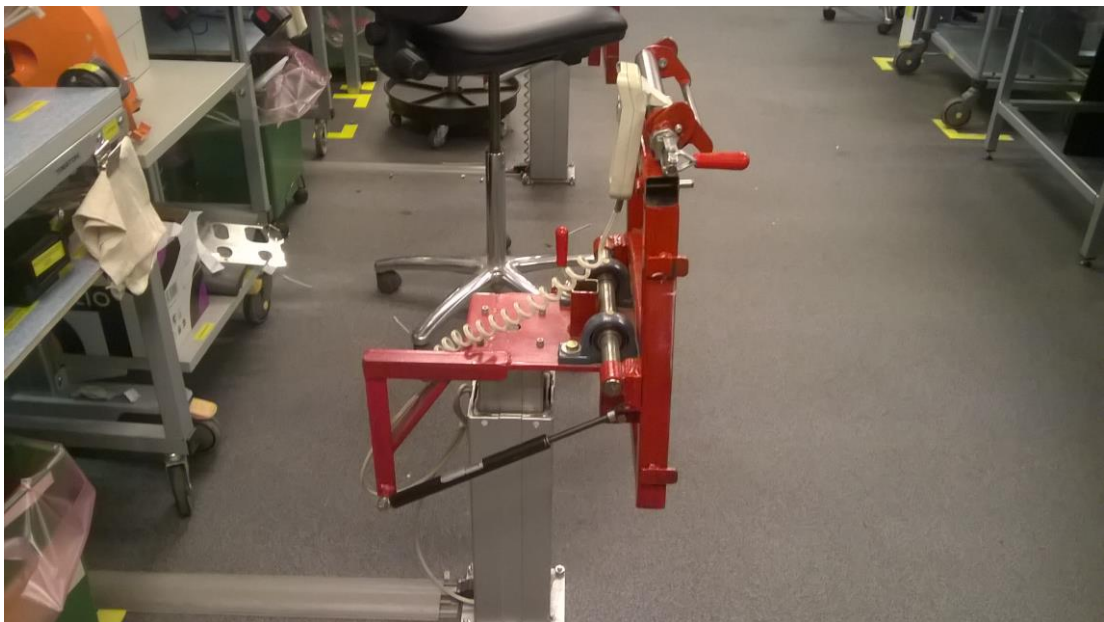
Kuva 9. Työpiste IGBT/puhallin.

Valmiit osakokoonpanot siirretään kuvan 10 puskurialueelle eli keskeneräisen tuotannon varastointialueelle. Puskurialueelta asentaja asentaa osakokoonpanot jigiin kiinnitettyyn moduulialustaan.



Kuva 10. Osakokoonpanojen puskurialue.

Loppukokoonpano tehdään kokonaisuudessaan kuvan 11 jigin päällä. Jigi on yleisnimitys asennusta helpottavalle apuvälineelle. Osakokoonpanojen osat kerätään puskuripöydältä ja asennetaan loppukokoonpanovaiheessa moduulialustaan.

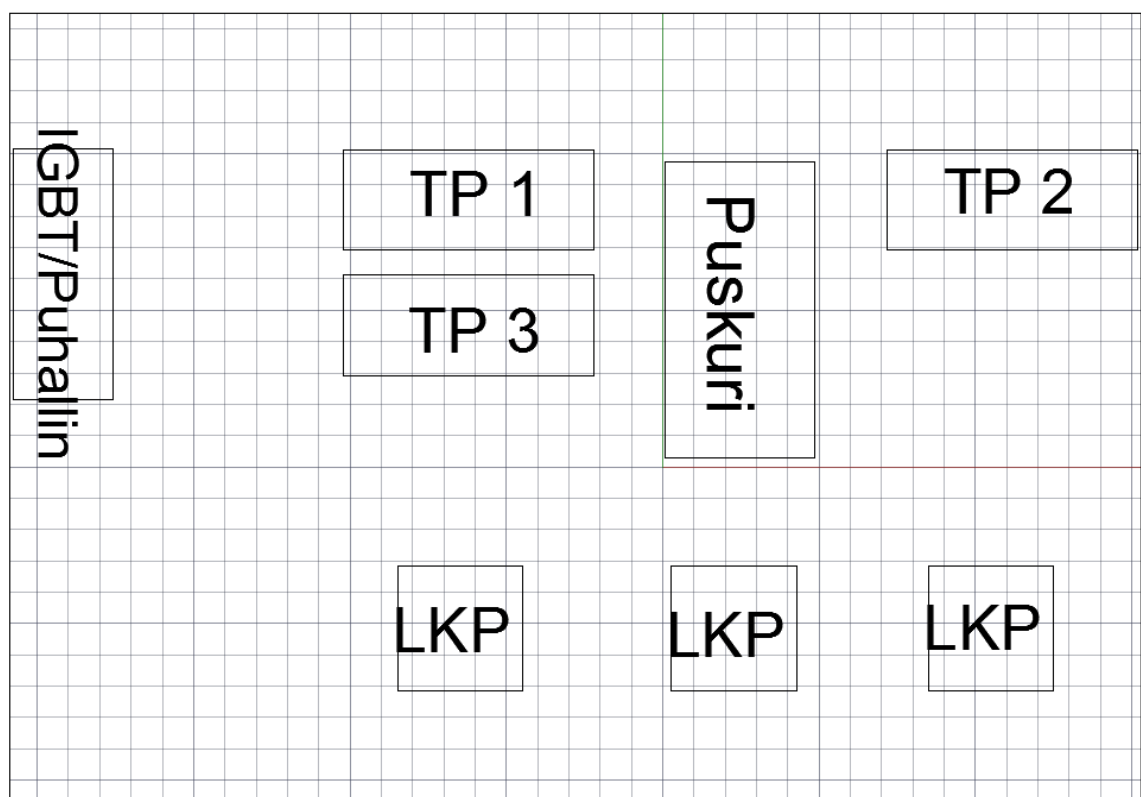


Kuva 11. Loppukokoonpanon jigi.

5.2 Layout

Kuvassa 12 esitetty nykyinen layout sisältää neljä osakokoonpano työpistettä (TP1, TP2, TP3 ja IGBT/puhallin). Käytännössä TP3 toimii ylimääräisenä työpisteenä, joka on käytössä vain volyymin ollessa korkea. IGBT-moduulit valmistetaan tällä hetkellä toisella kokoonpanolinjalla.

Linjalta löytyy kolme loppukokoonpanotyöpistettä (LKP), joiden kuormitusta ohjaa myös volyymin suuruus. Kolmen loppukokoonpanotyöpisteen ollessa käytössä tarvitaan kolme osakokoonpanijaa, jotta tuotantoprosessi pysyy tasapainossa.



Kuva 12. Kokoonpanolinjan nykyinen layout.

5.3 Työntutkimus

Työntutkimuksella tarkoitetaan työn tuottavuuden kehittämiseen käytettäviä tutkimuksia. Tutkimuksella kerättävää tietoa käytetään ajankäytön, työnkulun, työvaiheiden ja työliikkeiden tehostamiseen. [11.] Tässä työssä työntutkimus tehtiin kelloaikatutkimuksena.

Vanhan kokoonpanoprosessin kartoittamiseksi suoritettiin jokaiselle tuotteelle ja työvaiheelle kelloaikatutkimus (liite 1). Kelloaikatutkimukset löytyvät liitteestä 1. Tutkimuksen avulla saatiin kuva nykyisen kokoonpanoprosessin kokoonpanoaikojen tasapainosta.

Tutkimuksessa on otettu huomioon työntekijöiden joutuisuuskertoimet, joten eri henkilöiden tekemät tutkimusajat ovat vertailukelpoisia keskenään. Kelloaikatutkimuksen loppuaika koostuu kaavan 2 mukaisesti tutkimusajan ja joutuisuuskertoimen tulosta. Tutkimus on tehty jokaiselle tuotteelle kerran, mutta tarkkuus riittää pohjaksi uuden linjan vaiheistuksen suunnitteluun.

$$t * j = L \quad (2)$$

t on tutkimusaika

j on joutuisuuskerroin

L on lopullinen aika

Tuotteen A kelloaikatutkimuksen tulokset

Tuotteen A kelloaikatutkimus suoritettiin kahdelle moduulimallille. Vertailtaessa taulukon 2 ja 3 kokoonpanojen loppuaikoja voidaan havaita mallin A/A asennusajan olevan huomattavasti mallin A/B aikaa nopeampi.

Taulukko 2. Kelloaikatutkimuksen tulokset moduulimalli A/A.

Osakokoonpanot	Tutkimusaika (min)	Joutuisuuskerroin	Lopullinen aika (min)
tehoaste+kiskopaketti	14,25	1,1	15,68
kondensaattoripaketti	8	1,1	8,80
korttipaketti+AINT	3,17	1,1	3,48
IGBT	5	1,1	5,50
Osakokoonpanot yhteensä	30,42	1,1	33,46

Loppukokoonpano	Tutkimusaika (min)	Joutuisuuskerroin	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano	35,75	1,1	39,33

Taulukko 3. Kelloaikatutkimuksen tulokset moduulimalli A/B.

Osakokoonpanot	Tutkimusaika (min)	Joutuisuuskerroin	Lopullinen aika (min)
tehoaste+kiskopaketti	15,33	1,1	16,86
kondensaattoripaketti	9,98	1,1	10,98
korttipaketti+AINT	10,83	1,1	11,913
IGBT	5	1,1	5,50
Osakokoonpanot yhteensä	41,14	1,1	45,26

Loppukokoonpano	Tutkimusaika (min)	Joutuisuuskerroin	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano	44,48	1,1	48,93

Kokoonpanoajojen suurimman eron tutkimuksissa selittää kontaktorin asennus mallissa A/B. Kontaktori aiheuttaa lisää työtä osakokoonpanoihin sekä loppukokoonpanoon. Myös kondensaattoripaketin asennusajassa on moduuleiden välillä huomattava ero. Lopullisten aikojen perusteella linjalle tarvitaan yhtä monta työpistettä osa- ja loppukokoonpanoon.

Tuotteen B kelloaikatutkimuksen tulokset

Taulukoissa 4 ja 5 esitetyt kelloaikatutkimukset on tehty asennusteknisistä eroista johtuen kahdelle moduulimallille.

Taulukko 4. Kelloaikatutkimuksen tulokset moduulimalli B/A.

Osakokoonpanot	Tutkimusaika (min)	Joutuisuuskerroin	Lopullinen aika (min)
tehoaste+kiskopaketti+IGBT	29,26	1,05	30,72
kondensaattoripaketti	12,10	1,13	13,67
korttipaketti	12,40	1,10	13,64
puhallinpaketti	7,42	1,10	8,16
Osakokoonpanot yhteensä	61,18	1,11	66,20
Loppukokoonpano	Tutkimusaika (min)	Joutuisuuskerroin	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano	56,53	1,10	62,18

Taulukko 5. Kelloaikatutkimuksen tulokset moduulimalli B/B.

Osakokoonpanot	Tutkimusaika (min)	Joutuisuuskerroin	Lopullinen aika (min)
tehoaste+kiskopaketti+IGBT	36,80	1,05	38,64
kondensaattoripaketti	17,25	1,10	18,98
korttipaketti	4,67	1,10	5,14
puhallinpaketti	7,42	1,10	8,16
Osakokoonpanot yhteensä	66,14	1,10	70,91

Loppukokoonpano	Tutkimusaika (min)	Joutuisuuskerroin	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano	62,75	0,90	56,48

Asennusaikojen erot tuotteen B moduulimallien välillä ovat tutkimustulosten perusteella suurimmat kondensaattori- ja korttipakettien asennuksissa. Lopullisten aikojen perusteella linjalle tarvitaan yhtä monta työpistettä osa- ja loppukokoonpanoon.

Kelloaikatutkimusten yhteenveto

Kellotusaikatutkimuksen moduulimallit on valittu keskimääräisen kokoonpanoajan mukaan ääripäistä, jotta tulokset kelpaavat pohjaksi uuden linjan suunnitteluun. Tuotteelle A oli erityisesti tärkeää ottaa mukaan kaksi moduulimallia, koska kokoonpanoajat eroavat toisistaan huomattavasti. Linjan kokoonpanoajien tasapainottamiseksi tarvitaan kelloaikatutkimuksen perusteella yhtä monta työpistettä osa- ja loppukokoonpanoon molempien tuotteiden osalta.

5.4 Arvovirtakuvaus

Kelloaikatutkimusten pohjalta luotiin jokaiselle tuotteelle arvovirtakuvaukset (liite 2). Arvovirtakuvauksella kuvataan tuotannon tilannetta määrättyllä ajan hetkellä. Kuvauksesta ilmenee selkeästi, kuinka nykyinen asennusprosessi kokoonpanolinjalla etenee.

Arvovirtakuvauksen laskelmien avulla saadaan laskettua linjan työntekijätarve, sekä havainnollistettua linjan työpistekohtaisten kokoonpanoaikojen tasapainoa moduuleiden valmistusmäärän ollessa määritetyllä tasolla. Luvussa käydään läpi tärkeimmät laskentatyökalut ja niiden kaavat.

Työntekijätarve

Työpistekohtaisen asennusajan, työpäivänpituuden, valmistettavien moduuleiden määrän ja vuorojen lukumäärän avulla saadaan laskettua työpistekohtainen työntekijätarve. Työntekijämäärä saadaan laskettua kaavalla 2.

$$E = \frac{p \cdot t}{w} \quad (2)$$


E on työntekijätarve

p on valmistettavien moduuleiden määrä (kpl)

t on moduulin asennusaika (min)

w on työpäivän pituus (min)

Arvovirtakuvauksen työpistekohtainen työntekijätarve on kuvassa 13 mustalla fontilla keltaisesta laatikosta löytyvä luku 0,3.

IGBT		TP1
	0,3	
P/T:(Min)		5,5
Avail. (Min)		438,00
Pieces/shift		20,00
Shift:		1

Kuva 13. Työpisteen kuvaus arvovirtakuvauksessa.

Kokoonpanopisteiden tasapaino

Insinööriyön arvovirtakuvaustyökalun (liite 2) valmistusmääräksi on määritetty tuotteelle A 20 moduulia päivässä ja tuotteelle B 15 moduulia päivässä. Työkalun luvut ovat todellisuudessa muutettavissa, mutta näillä moduuleilla tavanomaisilla valmistusmäärillä saadaan käsitys moduulivalmistuksen nykytilasta kokoonpanolinjalla.

Linjan työntekijätarve pysyy samana myös vaiheistetulla linjalla, koska vaiheistus ei vaikuta tuotteen asennustekniikkaan.

Tuote A/A

Taulukon 6 työntekijälaskelmien perusteella voidaan havaita, että työpisteiden välillä on havaittavissa epätasapainoa. 20 moduulin valmistukseen vaaditaan yhteensä 3,3 työntekijän työpanos, mikä tarkoittaa tässä tapauksessa käytännössä neljää 0,825 tehokkuudella työskentelevää työntekijää.

Suurimmat ongelmat löytyvät osakokoonpanopisteeltä TP2. Työntekijätarve TP2:lla on 0,56, kun TP1:llä vastaava luku on 0,97. Tämän epätasapainon vuoksi tuotanto hidastuu, koska hitain kokoonpano määrittää kokoonpanolinjan läpimenoajan. Epätasapaino syntyy, koska kyseisessä moduuliversiosta puuttuu kontaktori. Loppukokoonpanon keskimääräiseksi työntekijätarpeeksi kahdella työntekijällä tulee 0,9.

Taulukko 6. Työntekijätarve tuote A/A.

Työpiste	Työntekijätarve
työpiste 1	0,97
työpiste 2	0,56
loppukokoonpano	1,80
Yhteensä	3,32

Tuote A/B

Taulukon 7 laskelmista voidaan havaita, että kontaktorin kokoonpano tasapainottaa linjaa. Työntekijämäärän kokonaistarve 20 moduulin valmistukseen tuotteella on 4,30 henkilöä. Neljällä työntekijällä selvitäkseen tulisi jokaisen työntekijän toimia tehokkuudella 1,07. Kahta loppukokoonpanijaa käytettäessä työpistekohtaisesti työntekijätarve jakautuu välille 1,02 – 1,115.

Taulukko 7. Työntekijätarve tuote A/B.

Työpiste	Työntekijätarve
työpiste 1	1,02
työpiste 2	1,05
loppukokoonpano	2,23
Yhteensä	4,30

Tuote B/A

Taulukon 8 lukujen perusteella 15 moduulin valmistukseen tarvitaan nykyisellä kokoonpanolla 4,40 työntekijää. Keskimääräinen työntekijän tehokkuustarve on siis 1,05. Käytettäessä neljää työntekijää tehokkuustarve työpisteittäin vaihtelee välillä 1,05 - 1,105. Osakokoonpanot ovat keskenään hyvin tasapainossa. Loppukokoonpanon osalta työpistekohtaiseksi työntekijän tehokkuustarpeeksi kahdella työntekijällä jää 1,065, joten kokoonpano on osa- ja loppukokoonpanojen osalta tasapainossa.

Taulukko 8. Työntekijätarve tuote B/A.

Työpiste	Työntekijätarve
työpiste 1	1,05
työpiste 2	1,21
loppukokoonpano	2,13
Yhteensä	4,40

Tuote B/B

Taulukon 9 perusteella kyseessä on kokoonpanon suhteen epätasapainoinen moduuli. 15 moduulin valmistukseen vuoron aikana vaaditaan 4,38 työntekijän työpanos. Työpis-tekohtaista työntekijätarvetta katsomalla huomataan neljällä työntekijällä työskennel-lessä työmäärien olevan epätasapainossa. Osakokoonpanot hidastavat huomattavasti tuotantoa työntekijätarpeen ollessa työpisteellä 1 1,32, kun vastaavasti loppukokoonpa-non työntekijätarve on kahdella asentajalla 0,975.

Taulukko 9. Työntekijätarve tuote B/B.

Työpiste	Työntekijätarve
työpiste 1	1,32
työpiste 2	1,11
loppukokoonpano	1,95
Yhteensä	4,38

Työntekijätarpeiden yhteenvedo

Tuotteen A tuotanto on laskelmien perusteella kokonaisuudessaan hyvin tasapainossa. Kokoonpanolinjalla valmistetaan molempia malleja yhtä paljon, joten neljällä työntekijällä saadaan päivässä valmistettua 20 moduulia. Tuotantovolyymit huomioon ottaen linjan mitoitus on nykytilassa riittävä.

Tuotteen B tuotannossa työpisteiden työntekijätarpeet ovat osa- ja loppukokoonpanojen osalta keskenään epätasapainossa. Työntekijöiltä vaadittava työpanos on loppukokoonpanon osalta huomattavasti osakokoonpanoja pienempi. Laskelmien perusteella 15 moduulin tuottamiseen linjalla tarvitaan 4,4 työntekijää, joten tuotantovolyymit huomioon ottaen linjan mitoitus on nykytilassa riittävä.

Moduuliversioiden vaihtelusta johtuen asennusaikoja on käytännössä mahdotonta saada jokaisella tuotteella täysin tahtiaikaa vastaavaksi. Kokoonpanojen lievää epätasapainoa saadaan tasapainotettua siirtymällä työpisteeltä toiselle, mikä edellyttää asentajilta omatoimisuutta ja yhteistyökykyä.

5.5 Kehitysehdotukset

Linjan nykytilaa koskevat kehitysehdotukset (liitteet 3 ja 4) kerättiin suullisella ja kirjallisella haastattelulla. Kehitysehdotuksia kerättiin linjan asentajilta sekä System Modulesin toimihenkilöiltä. Insinööriyön alussa järjestettiin erikseen palaverit linjan asentajille ja toimihenkilöille. Palaverissa käytiin läpi työn kulku ja tavoitteet.

6 Tuotteiden A ja B kokoonpanolinjan tavoitetila

Tavoitteena on vaiheistuksen myötä virtaukseltaan tehokkaampi linja, jossa ongelmat havaitaan aiemmin ja niihin joudutaan etsimään ratkaisuja aiempaa nopeammin. Aiemmin ongelmat ovat helposti hautautuneet tuotannon häiriöitä piilottaviin puskureihin ja ongelmien juurisytyt ovat jääneet korjaamatta. Nopeampien asennusaikojen myötä myös kouluttaminen työhön nopeutuu, mikä lisää kapasiteetin joustavuutta yksikön sisällä.

Työpisteiden määrä ja kokoonpanoajat on pyritty tasapainottamaan työssä käytettyjen työkalujen ja toimintaperiaatteiden avulla. Työssä suoritettua tutkimuksen perusteella linjalla voidaan valmistaa tuotteet A, B ja C joustavasti asiakastilausten mukaan. Tässä luvussa käsitellään tuotteiden A ja B vaiheistusta. Tuote C käsitellään omassa luvussaan.

6.1 Vaiheistus

Vaiheistuksen suunnittelun pohjana toimivat työohjeet (liite 5), kelloaikatutkimukset (liite 1) ja yksikön työntekijöiden näkemykset. Vaiheistuksesta muodostettiin kaksi vaihtoehtoa: kaksi- ja kolmevaiheinen loppukokoonpanon vaiheistus.

Vaiheistuksen katkokohdat toimivat ohjeena asentajille. Katkokohdat on luotu työohjeiden ja kelloaikatutkimusten pohjalta, joten työohjeista voidaan tarkistaa työpistekohtaiset asennukset. Tavoitteena oli löytää loogiset ja suuriin osakokonaisuuksiin perustuvat katkokohdat loppukokoonpanoon. Loppukokoonpanon työvaiheiden vaiheistuksen avulla yritettiin luoda luonnollista imua linjalle. Käytännössä tämä toteutetaan loppua kohden nopeutuvilla asennusajoilla.

Työaikatutkimusten ja työohjeiden pohjalta suunniteltu loppukokoonpanon vaiheistus testattiin kokoonpanolinjalla yhteistyössä asentajien kanssa. Haasteita vaiheistuksen suunnittelussa aiheutti työohjeista poikkeava asennusjärjestys työaikatutkimuksessa, minkä vuoksi testiasennuksen suoritus oli välttämätöntä. Testiasennus suoritettiin työohjeiden mukaisesti. Sen yhteydessä suunniteltuihin vaiheistuskohtiin saatiin tehtyä lopullinen hienosäätö. Joutuisuuskertoimien huomioimatta jättäminen testiasennuksessa selittää testiasennusten nopeammat asennusajat.

6.1.1 Kaksivaiheinen vaiheistus

Kaksivaiheisessa kokoonpanossa linjan kokoonpanoajat jakautuvat tasaisesti kahteen osa- ja loppukokoonpanoon. Suurten osakokoonpanojen asennus on loppukokoonpanossa nopeaa, joten katkokohdat jouduttiin sijoittamaan pienempiin osakokonaisuuksiin asennusaikojen tasapainon optimoimiseksi.

Tuote A

Tuotteen A osalta kelloaikatutkimustuloksiin perustuvat työpisteiden lopulliset kokoonpanoajat on kuvattu taulukoissa 10 ja 11.

Taulukko 10. Tuote A/A kaksivaiheinen kokoonpano.

Osakokoonpano 1	Lopullinen aika (min)
tehoaste+kiskopaketti	15,68
IGBT	5,5
Yhteensä	21,18

Osakokoonpano 2	Lopullinen aika (min)
kondensaattoripaketti	8,80
korttipaketti+AINT	3,48
Yhteensä	12,28

Kaksivaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	17,69
loppukokoonpano 2	21,63

Taulukko 11. Tuote A/B kaksivaiheinen kokoonpano.

Osakokoonpano 1	Lopullinen aika (min)
tehoaste+kiskopaketti	16,86
IGBT	5,5
Yhteensä	22,36

Osakokoonpano 2	Lopullinen aika (min)
kondensaattoripaketti	10,98
korttipaketti+AINT+kontaktori	11,91
Yhteensä	22,89

Kaksivaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	25,50
loppukokoonpano 2	23,42

Suoritettun testiasennuksen perusteella havaittiin taulukon 12 ja 13 mukaisesti ensimmäisen loppukokoonpanon olevan todellisuudessa kelloaikatutkimusten mukaisia tuloksia nopeampi molempien tuotteiden osalta. Tämä johti loppukokoonpanon katkokohdan siirtämiseen.

Taulukko 12. Tuote A/A testiasennus.

Kaksivaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	14,00
loppukokoonpano 2	19,00

Taulukko 13. Tuote A/B testiasennus.

Kaksivaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	18,00
loppukokoonpano 2	21,00

Loppukokoonpanon katkokohdat

Ensimmäinen ehdotus katkokohdasta tuotteen A moduuleiden osalta oli eristenuhan asennuksen ja Clamp-kondensaattoreiden asennuksen välissä. Suunnitellun vaiheistuksen testiasennuksessa havaittiin katkokohtamuutoksen olevan tarpeellinen, jotta loppukokoonpano saadaan asetettujen tavoitteiden mukaiseksi.

Katkokohdat tuote A/A

Loppukokoonpano 1: Päättyy *Eristepilarin ruuvien ja Serpress-muttereiden kiristykseen.*

Loppukokoonpano 2: Alkaa *Korttipellin asettamisesta ja päättyy moduulin koestamoon vientiin.*

Katkokohdat tuote A/B

Loppukokoonpano 1: Päättyy *Eristepilarin ruuvien ja Serpress muttereiden kiristykseen.*

Loppukokoonpano 2: Alkaa *Korttipellin asettamisesta ja päättyy moduulin koestamoon vientiin.*

Tuote B

Tuotteen B osalta kelloaikatutkimustuloksiin perustuvat työpisteiden lopulliset kokoonpanoajat on kuvattu taulukoissa 14 ja 15.

Taulukko 14. Tuote B/A kaksivaiheinen kokoonpano.

Osakokoonpano 1	Lopullinen aika (min)
tehoaste+kiskopaketti+IGBT	30,72
Yhteensä	30,72

Osakokoonpano 2	Lopullinen aika (min)
kondensaattoripaketti	13,67
korttipaketti	13,64
puhallinipaketti	8,16
Yhteensä	35,48

Kaksivaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	30,53
loppukokoonpano 2	31,65

Taulukko 15. Tuote B/B kaksivaiheinen kokoonpano.

Osakokoonpano 1	Lopullinen aika (min)
tehoaste+kiskopaketti+IGBT	38,64
Yhteensä	38,64

Osakokoonpano 2	Lopullinen aika (min)
kondensaattoripaketti	18,98
korttipaketti	5,14
puhallinpaketti	8,16
Yhteensä	32,27

Kaksivaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	30,98
loppukokoonpano 2	25,50

Suoritettujen testiasennusten perusteella havaittiin taulukoiden 16 ja 17 mukaisesti ensimmäisen loppukokoonpanon olevan todellisuudessa kelloaikatutkimusten mukaisia tuloksia nopeampi molempien tuotteiden osalta. Tämä johti loppukokoonpanon katkokohdan siirtämiseen.

Taulukko 16. Tuote B/A testiasennus.

Kaksivaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	27
loppukokoonpano 2	29

Taulukko 17. Tuote B/B testiasennus.

Kaksivaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	25
loppukokoonpano 2	31

Loppukokoonpanon katkokohdat

Ensimmäinen ehdotus katkokohdasta tuotteen B-moduuleiden osalta oli latausvastusten johtimien paikoilleen asennuksen ja johtosarjan liittimille X205 asennuksen välissä. Suunnitellun vaiheistuksen testiasennuksessa havaittiin katkokohtamuutoksen olevan tarpeellinen, jotta loppukokoonpano saadaan asetettujen tavoitteiden mukaiseksi. Tuotteen B moduulimallit toimivat samoilla katkokohdilla.

Katkokohdat tuote B

Loppukokoonpano 1: Päätyy *Clamp-kondensaattoreiden kiinnitykseen moduuleihin.*

Loppukokoonpano 2: Alkaa *Moduulin oikeanpuoleisten kiskojen kiristämällä Kombi-Delta-ruuveilla.*

Kaksivaiheisen vaiheistuksen yhteenveto

Kaksivaiheisessa osakokoonpanossa linjan kokoonpanoajat jakautuvat kahteen osa- ja loppukokoonpanoon. Erona kokoonpanolinjan nykytilaan on vaiheistettu loppukokoonpano. Osakokoonpanojen nykytila todettiin ajallisesti tasapainoisimmaksi vaihtoehdoksi, joten muutokseen ei ollut tarvetta. Kaksivaiheinen vaiheistus toimii hyvin myös pienillä asentajamäärillä, joten linjalla on mahdollisuus valmistaa tuotteita virtaustehokkaasti tuotantovolyyymeista riippumatta.

6.1.2 Kolmevaiheinen vaiheistus

Kolmevaiheisessa kokoonpanossa linjan kokoonpanoajat jakautuvat kolmeen osa- ja loppukokoonpanoon. Suurien osakokoonpanojen asennus on loppukokoonpanossa nopeaa, joten katkokohdat jouduttiin sijoittamaan pienempiin osakokonaisuuksiin asennusaikojen tasapainon optimoimiseksi.

Tuote A

Tuotteen A osalta kelloaikatutkimustuloksiin perustuvat työpisteiden lopulliset kokoonpanoajat kuvattuna taulukossa 18 ja 19.

Taulukko 18. Tuote A/A kolmevaiheinen kokoonpano.

Osakokoonpano 1	Lopullinen aika (min)
tehoaste+IGBT	10,73
korttipaketti+AINT	3,48
Yhteensä	14,21

Osakokoonpano 2	Lopullinen aika (min)
kondensaattoripaketti	8,80
Yhteensä	8,80

Osakokoonpano 3	Lopullinen aika (min)
kiskopaketti	10,45
Yhteensä	10,45

Kolmevaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	14,12
loppukokoonpano 2	11,37
loppukokoonpano 3	13,84

Taulukko 19. Tuote A/B kolmevaiheinen kokoonpano.

Osakokoonpano 1	Lopullinen aika (min)
tehoaste+IGBT	10,48
korttipaketti+AINT	6,913
yhteensä	17,40

Osakokoonpano 2	Lopullinen aika (min)
kondensaattoripaketti	10,98
kontaktori	5,00
yhteensä	15,98

Osakokoonpano 3	Lopullinen aika (min)
kiskopaketti+vastus	11,88
Yhteensä	11,88

Kolmevaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	18,70
loppukokoonpano 2	15,46
loppukokoonpano 3	14,76

Taulukoiden 20 ja 21 testiasennukset ovat ajallisesti samaa luokkaa kellotustutkimuksiin perustuvien tulosten kanssa.

Taulukko 20. Tuote A/A testiasennus.

Kolmevaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	12
loppukokoonpano 2	11
loppukokoonpano 3	10

Tuote A/B testiasennus.

Kolmevaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	14
loppukokoonpano 2	13
loppukokoonpano 3	12

Loppukokoonpanon katkokohdat

Kolmevaiheinen loppukokoonpano tuotteen A-moduuleiden osalta todettiin katkokohdittaan testiasennuksissa tasapainoisiksi, joten muutoksiin ei ollut tarvetta.

Katkokohdat Tuote A/A

Loppukokoonpano 1: Päätyy *Kombi-ruuvien kiristys eristyspilarista.*

Loppukokoonpano 2: Alkaa *Työnnä iso kisko kontaktorin napoihin ja aseta paikoilleen.*
Päätyy *virtamuuntimen johdinten kytkentään AINT-kortille.*

Loppukokoonpano 3: Alkaa *Valokuitujen kytkennällä*

Katkokohdat Tuote A/B

Loppukokoonpano 1: Päätyy *Kombi-Delta-ruuvien kiristämiseen.*

Loppukokoonpano 2: Alkaa *Eristelevyn asettamisella kondensaattoripaketin päälle.*
Päätyy *virtamuuntimen johdinten kytkentään AINT-kortille A42:X7.*

Loppukokoonpano 3: Alkaa *Johtimen kytkentään AINT-kortille A42:X8*

Tuote B

Tuotteen B osalta kelloaikatutkimustuloksiin perustuvat työpisteiden lopulliset kokoonpanoajat on kuvattu taulukoissa 22 ja 23.

Taulukko 21. Tuote B/A kolmevaiheinen kokoonpano.

Osakokoonpano 1	Lopullinen aika (min)
tehoaste+IGBT	10,09
korttipaketti	13,64
Yhteensä	23,73

Osakokoonpano 2	Lopullinen aika (min)
kondensaattoripaketti	13,67
puhallinpaketti	8,16
Yhteensä	21,84

Osakokoonpano 3	Lopullinen aika (min)
kiskopaketti	20,63
Yhteensä	20,63

Kolmevaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	22,17
loppukokoonpano 2	20,47
loppukokoonpano 3	19,55

Taulukko 22. Tuote B/B kolmevaiheinen kokoonpano.

Osakokoonpano 1	Lopullinen aika (min)
tehoaste+IGBT	9,71
korttipaketti	5,14
puhallinpaketti	8,16
Yhteensä	23,01

Osakokoonpano 2	Lopullinen aika (min)
kondensaattoripaketti	18,98
Yhteensä	18,98

Osakokoonpano 3	Lopullinen aika (min)
kiskopaketti	28,93
Yhteensä	28,93

Kolmevaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	20,85
loppukokoonpano 2	20,48
loppukokoonpano 3	15,15

Taulukoiden 24 ja -25 testiasennukset ovat ajallisesti samaa luokkaa kelloaikatutkimuksiin perustuvien tulosten kanssa. Testiasennuksen loppuaikojen perusteella kolmevaiheiseen loppukokoonpanoon tehtiin pieniä muutoksia.

Taulukko 23. Testiasennus tuote B/A.

Kolmevaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	17
loppukokoonpano 2	20
loppukokoonpano 3	19

Taulukko 24. Testiasennus tuote B/B.

Kolmevaiheinen loppukokoonpano	Lopullinen aika (min)
loppukokoonpano 1	18
loppukokoonpano 2	18
loppukokoonpano 3	20

Loppukokoonpanon katkokohdat

Testiasennusten perusteella loppukokoonpanon katkokohtia siirrettiin kaksi työvaihetta myöhemmäksi. Muutos tehtiin asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi.

Katkokohdat tuote B

Loppukokoonpano 1: Päätyy *Kondensaattorin kiristys M6 Serpress-muttereilla*.

Loppukokoonpano 2: Alkaa *Kansi kiinni konkkapaketin kylkeen Kombi-Torx-ruuveilla*. Päätyy *Kosketussuoja johtosarjan peltiin Kombi-ruuveilla*.

Loppukokoonpano 3: Alkaa *ZINT-kortille korotuspilarit, ruuvitalalla käsikireyteen*.

Kolmevaiheisen vaiheistuksen yhteenveto

Kolmevaiheisessa kokoonpanossa jouduttiin pilkkomaan osakokoonpanoja, mikä johti kiskopakettien ja tehoasteen kokoonpanojen sijoittamiseen eri osakokoonpanopisteille. Tämä aiheuttaa riippuvuussuhteen kokoonpanojen välille, mutta linjan asennusaikojen tasapainottamiseksi toimenpide on välttämätön. Puhallinpaketti on myös tuotteella B/B siirretty työpisteelle 1 osakokoonpanojen tasapainottamiseksi. Osakokoonpanojen pilkkominen tuotekohtaisesti eri tavoin kolmevaiheisen vaiheistuksen asettamien vaatimusten mukaisesti aiheuttaa sekavuutta asennukseen. Sekavuus näkyisi käytännössä tuotannonhäiriöinä linjalla.

Optimaalisesti toimiessaan kolmevaiheinen vaiheistus olisi virtaustehokkain vaihtoehto. Kolmevaiheinen vaiheistus edellyttää kuitenkin tehokkaasti toimiakseen korkeita tuotantovolyyymeita, joten tuotteiden menekkiennusteiden perusteella vaiheistus ei ole optimaalinen linjan tuotteille.

6.2 Arvovirtakuvaus

Nykytilan arvovirtakuvauksen kanssa samaan työkalupohjaan luotiin tulevaisuuden arvovirtakuvaus (liite 6) eli FSM (Future Stream Mapping)-hahmotelma uuden tuotannon vaiheistuksen mukaisesti. Kuvauksesta saadaan kuva linjan tulevaisuudentilasta ja siitä millä tavalla uudistus vaikuttaa linjan toimintaan.

Kuvauksessa tuotteiden arvoa lisääväksi ajaksi on laskettu työpisteellä tapahtuvan toiminnan sisältävä aika, vaikka oikeasti myös työpisteellä tapahtuvasta työstä löytyy paljon hukkaa. Hukaksi luokitellaan tässä tapauksessa vain aika, jonka tuote on puskurissa odottamassa seuraavaa työvaihetta. Tällä tavalla tarkastellessa voidaan havainnoida nimenomaan vaiheistuksella saatavia etuja linjalla.

Kokoonpanolinjan vaiheistuksella saadaan moduulivirtaa koestamoon tasoitettua. Moduulit valmistuvat yhdestä linjasta kahden sijaan, joten koestamoon tulevien moduuleiden puskuri pysyy vaiheistamatonta tuotantoa pienempänä. Tämä luo tuotantoon haluttua virtausta ja vähentää keskeneräistä tuotantoa.

Arvonlisäys tuotantoon

Vaiheistuksen avulla tuotantoon saatava arvonlisäys on havaittavissa vertaamalla linjan tavoitetilaa nykytilaan VSM:n ja FSM:n työkalujen avulla. Tietyllä ajanhetkellä arvoa tuottavan ajan suhde arvoa tuottamattomaan aikaan havainnollistaa vaiheistuksesta koituvan hyödyn.

Arvonlisäys kyseisellä menetelmällä toimii vaiheistuksesta saatavien hyötyjen havainnollistamiseen. Kyseisellä vertailulla ei kuitenkaan saada lisäarvoa itse vaiheistuksen näkökulmasta, joten luvut on esitetty tässä työssä vain ajatusmallin todisteena.

Arvonlisäyksen todistaminen

Oletetaan puskurin häviävän vaiheistuksen luoman tasaisen virtauksen ansiosta kokonpanolinjan ja koestamon väliltä kokonaan. Arvoa tuottavan ajan suhde lasketaan kaavalla 4.

$$\frac{V}{L} * 100 = S \quad (4)$$

V on arvoa tuottava aika (value added time)

L on läpimenoaika (throughput time)

S on arvoa tuottavan ajan suhde läpimenoaikaan prosentteina

Taulukoista 26 ja 27 voidaan havaita keskeneräisen tuotannon vähentymisen myötä aikaansaatu arvoa tuottavan ajan kasvu suhteessa läpimenoaikaan.

Taulukko 25. VSM arvoa tuottavan ajan suhde läpimenoaikaan linjan ja koestamon välisen puskurin kanssa.

value added time	1,57	h
non value added time	1,57	h
throughput time	3,14	h
S	50	%

Taulukko 26. FSM arvoa tuottavan ajan suhde ajan suhde läpimenoaikaan ilman linjan ja koestamon välistä puskuria.

value added time	1,57	h
non value added time	1,18	h
throughput time	2,75	h
S	57,09	%

6.3 Ongelmakohdat

Nykyisellä linjalla oli useita ongelmakohtia. Työntekijöiltä tuli paljon palautetta nostinten puutteesta raskaita osia käsiteltäessä. Vaiheistuksen myötä myös nykyisten lattiaan kiinnitettyjen jigien tilalle tulee kehittää uusi tapa, jonka avulla moduulia voidaan siirtää loppukokoonpanossa.

Nostimet

Tulevaisuudessa kokoonpanolinjan pinta-alan kasvu mahdollistaa nostinten käytön. Niiden avulla voidaan parantaa linjalla aiemmin ilmenneitä ergonomiapuutteita. Erityisesti nostin on tarpeellinen painavien kondensaattoripakettien nostoissa, joita on aiemmin nostettu käsin sekä pidetty sylissä asennuksen aikana. Tämä muodostaa työturvallisuusriskin, joka voidaan nostinten avulla ehkäistä.

Lisäksi loppukokoonpanoalustojen uudistuksen myötä nostinta tarvitaan moduulin nostamiseen. Loppukokoonpanon valmistuessa raskaat moduulit tulee nostaa pöydältä liikutusalustoilleen ennen siirtoa koestamoon.

Loppukokoonpanon asennusalusta

Vaiheistetun loppukokoonpanon myötä tulee moduuleiden siirtämiseen kehittää uusi tapa. Nykyisen kiinteän jigien päällä valmistus ei ole vaiheistettuun tuotantoon soveltuva, koska moduulin siirtäminen vaatisi työpisteiden välille erillisen siirtoalustan.

Nykyisellä menetelmällä moduulin nostaminen jigiin tulisi suorittaa useamman kerran loppukokoonpanovaiheen aikana, mikä kasvattaisi linjan läpimenoaikaa kasvavan asetusajan myötä. Loppukokoonpano tulisikin valmistaa pöydällä, jota voidaan liikutella pyörien päällä ilman moduulin asetusta jokaisen työvaiheen jälkeen.

Pöytäratkaisua suunniteltaessa tulee työergonomia ottaa huomioon. Selän rasituksen ehkäisemiseksi asentajan jalkojen tulee mahtua työpöydän alle asennusta suoritettaessa. Pöydässä tulee myös olla korkeussäätö, jonka avulla työntekijä voi halutessaan työskennellä seisoen tai istuen. Monipuoliset ja ergonomiset työskentelyasennot tasoittavat rasitusta työpäivän aikana sekä vähentävät sairauslomia.

7 Tuotteen C nykytila ja vaiheistus

Tuotteen C vaiheistuksen perusteet on luotu protovaiheessa saatavissa olevien tietojen mukaan, joten tiedot toimivat suuntaviivoina vaiheistukselle.

Tuotteesta C tietojen kerääminen oli huomattavasti sarjatuotannolla valmistettavia tuotteita haastavampaa. Kyseinen tuote tullaan ajamaan sarjatuotantoon vasta Combine-linjalla. Vaiheistuksen hahmottamiseen tarvittavat tiedot kerättiin protopajalta ja tuotesuunnittelijoilta.

Protovaiheesta johtuen työaikatutkimusta rikkonaisesta asennuksesta on turha suorittaa. Jatkuvien asennuskatkosten vuoksi asennusaika vääristyisi ja saadut tulokset olisivat liian epätarkkoja luotettaviin lopputuloksiin.

Lähtökohtana tuotteen suunnittelussa oli tutkia tuotteen soveltumista valmistettavaksi samalla linjalla tuotteiden A ja B kanssa. Tuotteen tuotantovolyymit todettiin menekkienusteiden perusteella riittäviksi vaiheistuksen toteuttamiseen.

7.1 Kokoonpanon rakenne

Tuotesuunnittelulta saatujen teknisten piirustusten pohjalta listattiin valmistuksessa tarvittavat osakokoonpano- ja loppukokoonpanokokonaisuudet. Kuvien perusteella havaittiin kondensaattoripaketin olevan selvästi ajallisesti hitain kokoonpano-osa.

Asennusteknisesti suurimmat erot kokoonpanolinjan suunnittelun osalta aiheutuvat moduulin nestejäähdytteisyydestä. Jäähdytyksen vuoksi moduuliin tulee asentaa lauhdutin, vesiputket ja -liittimet. Moduulille tulee tehdä myös osana loppukokoonpanoa standardinmukainen painetesti, jonka avulla todetaan liitosten ja putkistojen paineenkestokyky.

Lauhduttimen, vesiputkien ja -liittimien asennus tulee ottaa huomioon osakokoonpanojen ja loppukokoonpanojen suunnittelussa. Lisäksi moduulille suoritettava vesitesti lisää loppukokoonpanoaikaa noin 20 minuuttia.

Moduuli voidaan jakaa tämän hetkisten tietojen perusteella karkeasti osakokoonpanoihin ja loppukokoonpanoihin osakokonaisuuksittain.

Osakokoonpanossa kokoonpantavat osat

- kondensaattoripaketti
- RC-piiri
- kuristin+päätykehikko
- lauhdutin
- korttilevy
- IGBT

Loppukokoonpanossa asennettavat osat

- korttilevy
- kondensaattoripaketti
- kuristinpaketti
- päätykehikko
- lauhdutin
- johdotukset
- vesiputket
- painetesti

Teknisiä piirustuksia tutkittaessa tuli erityisesti kartoittaa toisistaan riippuvaiset osakokoonpanot. Moduulin rakennetta tutkittaessa havaittiin, että RC-piirin kokoonpanon tulee olla valmis ennen kondensaattoripaketin asennusta. Tämä riippuvuussuhde tulee ottaa huomioon osakokoonpanojen suunnittelussa.

Asentajien haastattelu

Moduuli oli työn alussa vieras myös asentajille. Asentajien haastattelu voitiin tehdä vasta ensimmäisten moduuleiden valmistuttua. Asennusten perusteella kondensaattoripaketin kokoonpano vahvistettiin hitaimmaksi osakokoonpanoksi.

7.2 Kokoonpanon vaiheistuksen suunnittelu

Kokoonpanon vaiheistus tuotteelle on tämänhetkisten tietojen pohjalta luotu arvio kokoonpanon toteutuksesta. Tuote tullaan valmistamaan samalla linjalla, kuin tuotteet A ja B, joten myös kokoonpanon tulee olla linjalle soveltuva.

Esiselvityksen pohjalta voidaan tehdä esitykset vaiheistusvaihtoehdoista. Vaihtoehdot moduulin kokoonpanon vaiheistuksen osalta koostuvat kahdesta tai kolmesta osakokoonpanosta ja kahdesta loppukokoonpanosta.

Tuote C kaksi osakokoonpanoa

Osakokoonpanot

- kondensaattoripaketti, RC-Piiri, IGBT
- kuristin, päätykehikko, lauhdutin, sivulevy/korttilevy,

Loppukokoonpanot

- korttilevy, kondensaattoripaketti, kuristinpaketti, päätykehikko, lauhdutin
- johdotukset, vesiputket, painetesti

Tuote C kolme osakokoonpanoa

Osakokoonpanot

- kondensaattoripaketti, RC-piiri, IGBT
- kondensaattoripaketti, RC-piiri, IGBT
- kuristin, päätykehikko, lauhdutin

Loppukokoonpanot

- korttilevy, kondensaattoripaketti, kuristinpaketti, päätykehikko, lauhdutin
- johdotukset, vesiputket, painetesti

7.3 Ongelmakohdat

Ongelmakohdat koostuvat nostimista, loppukokoonpanon asennusalustoista sekä kondensaattoripaketin asennusjigistä. Nostinten ja asennusalustojen osalta on otettava huomioon tuotteen C rakenteelliset ominaisuudet.

Moduulin kaksipuolisen kondensaattoripaketin valmistaminen vaatii jigin suunnittelun linjalle. Kondensaattori tulee myös voida nostaa jigistä loppukokoonpanoon nostimen avulla.

Nostimet

Uuden tuotteen C myötä nostinten tarpeellisuus linjalla kasvaa entisestään. Moduulin kondensaattoripaketti painaa noin 40 kg, joten nostoja ei saa lain mukaan suorittaa ilman nostinta. Myös valmiin tuotteen siirtämiseen asennusalustalta moduulin liikutusalustalle vaatii nostimen käyttöä.

Loppukokoonpanon asennusalusta

Loppukokoonpanolinjan asennus ehdotetaan tuotteiden A ja B tapaan toteutettavaksi asennuspöydällä. Pöytää valittaessa tulee ottaa huomioon moduuleiden kokoluokat. Tuotteet A ja B ovat kooltaan huomattavasti pienempiä, kuin tuote C. Kokoerosta huolimatta alustan tulee toimia työergonomiasta tinkimättä kaikilla linjan tuotteilla.

Jigi

Yksinkertainen tapa valmistaa kaksipuoleinen kondensaattoripaketti on tarkoitukseen suunniteltava jigi. Kondensaattoripaketti saadaan kiinnitettyä jigiin ja kokoonpanon molemmat vaiheet voidaan suorittaa yhdellä kiinnityksellä asetusaikeiden minimoimiseksi. Jigi tulee löytyä jokaiselta kondensaattoriasennukseen käytettävältä työpisteeltä. Jigistä huolimatta työpisteillä tulee mahtua valmistamaan myös tuotteiden A ja B osakokoonpanoja.

8 Tulokset ja tavoitteiden saavuttaminen

Kaikki työn alussa määritellyt tavoitteet saavutettiin. Työn alkuperäiset tavoitteet olivat:

- loppukokoonpanon vaiheistus
- osakokoonpanojen työpisteiden määrän kartoitus
- valmistettavien taajuusmuuttajamoduulimallien kartoitus
- ongelmakohtien havainnointi ja ratkaisuehdotukset

Insinööritoiminnan päätavoitteena oli taajuusmuuttajien kokoonpanolinjan uudistusehdotus, jossa suunnitellaan uuden Combine-taajuusmuuttajakokoonpanolinjan vaiheistus loppukokoonpanoon, sekä kartoitetaan tarvittavien osakokoonpanotyöpisteiden määrä.

Lisäksi työssä tutkittiin viiden toisistaan poikkeavan taajuusmuuttajamoduulimallin soveltuvuutta valmistettavaksi samalla linjalla. Tuotteiden valmistuksessa havaituista ongelmakohtista pyrittiin tekemään havaintoja ja kehitysehdotuksia.

8.1 Vaiheistuksen toteutus

Vaiheistuksen toteutuksessa olennaista oli löytää ratkaisu, joka tukee kaikkien tuotteiden valmistusta linjalla. Tuotteita ei pyritty istuttamaan samalle linjalle pakolla, vaan tarkoitus oli löytää tuotteet, jotka voidaan valmistaa samalla linjalla ilman tuotantoa haittaavia kompromisseja.

Työn tuloksena linjan vaiheistus ehdotetaan toteutettavaksi loppukokoonpanon osalta kaksivaiheisena. Vaiheistus sopii työssä tehtyjen tutkimusten mukaan kaikille tuotteille ja osakokoonpanot pysyvät loppukokoonpanojen kanssa ajallisesti tasapainossa. Linjan kaksiosainen vaiheistus mahdollistaa työn suorittamisen sulavasti myös pienillä asentamäärillä, mikä edistää tuotannon joustavuutta.

Osakokoonpanojen osalta linja ehdotetaan toteutettavaksi yhteensä neljällä työpisteellä. Tuote C vaatii asennusaikojen tasapainon optimoimiseksi kolme osakokoonpanopistettä sekä LGBT-työpisteen. Valmistettaessa tuotteita A ja B ylimääräistä osakokoonpanopistettä voidaan käyttää korjauspaikkana.

Työssä tutkittiin myös kolmevaiheinen vaihtoehto osa- ja loppukokoonpanojen osalta tuotteelle A ja B. Optimaalisesti toimiessaan kolmevaiheinen vaiheistus olisi virtaustehokkain vaihtoehto. Toisaalta kolmevaiheinen vaiheistus edellyttää sulavasti toimiakseen korkeita tuotantovolyymeita, mikä vähentää linjan joustavuutta. Lisäksi osakokoonpanojen pilkkominen kolmevaiheisen vaiheistuksen vaatimiin osiin tuotteiden A ja B osalta aiheuttaa osakokoonpanon osien välille riippuvuussuhteita, jotka riskeeraavat linjan häiriöttömän toiminnan.

8.2 Vaiheistuksen hyödyt

Vaiheistuksella pyrittiin luomaan kokoonpanolinjalle tehokkaampi virtaus. Virtaustehokkuuden parantamisella pyritään keskeneräisen tuotannon vähentämiseen linjalla. Vaiheistettu linja ohjaa tuotantoa pienempiin puskureihin ja mahdollistaa tasaisemman virtauksen linjalta koestamoon. Puskureiden pienentyessä myös tuotantoprosessin häiriöt tulevat nopeammin esiin ja pakottavat korjaamaan häiriöiden juurisyyt. Juurisyyden korjaaminen johtaa pitkällä tähtäimellä laadun parantumiseen.

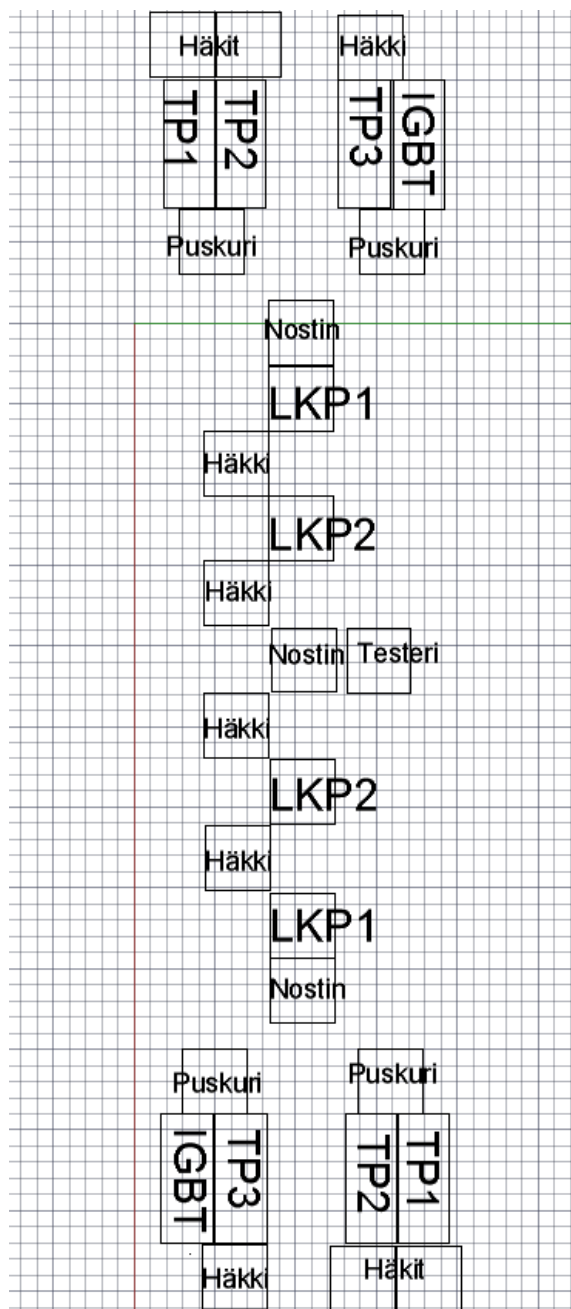
8.3 Tuotteiden rajaus

Tässä työssä tehtyjen tutkimusten perusteella viiden taajuusmuuttajamoduulimallin valmistaminen samalla kokoonpanolinjalla todettiin kannattamattomaksi ratkaisuksi. Moduuleiden ennustetut volyymit asettivat rajoitteet marginaalituotteiden valmistamiseen samalla linjalla volyymiltaan suurempien tuotteiden kanssa. Neljän tai useamman tuotteen valmistukseen suunniteltu kokoonpanolinja olisi myös ollut lähes mahdoton ohjata ilman myyntipäivien rajoittamista tuotannon vaatimusten mukaan.

Tuotteiden A, B ja C todettiin työssä tehtyjen tutkimusten perusteella soveltuvan valmistettavaksi tulevaisuudessa samalla linjalla. Tuotteet D ja E rajattiin pois tuotantolinjalta valmistettavista tuotteista alhaisten tuotantovolyymeiden ja linjan ohjattavuuden vuoksi.

8.4 Layout-ehdotus

Osana työtä tehtiin myös layout-ehdotus työn mukaisella vaiheistuksella. Kuvan 14 ehdotukseen on merkitty kokoonpano-osien logistiikkahäkit, työpisteet, nostimet sekä puskurialueet. Kokoonpanolinja koostuu kahdesta erillisestä linjasta, joiden sisällä voidaan samanaikaisesti valmistaa kahta eri moduulia. Linjan puolet voidaan erottaa toisistaan logistiikan osalta esimerkiksi punaisena ja keltaisena puolena.



Kuva 14.

Layout-ehdotus.

Tuotteiden A ja B valmistuksessa on käytössä vain kaksi osakokoonpanopistettä sekä IGBT-työpiste. Ylimääräistä työpistettä voidaan tässä tapauksessa käyttää moduuleiden korjaukseen. Tästä johtuen layout-ehdotus toimii parhaiten kahden eri moduulimallin valmistukseen linjalla samanaikaisesti. Raskaiden kondensaattoripakettien valmistukseen käytettävät työpisteet on sijoitettu lähelle loppukokoonpanoa, jotta pakettien siirtomatkat saadaan mahdollisimman lyhyiksi.

8.5 Kehitysehdotukset

Työssä havaitut ongelmakohdat koskivat nostinten, asennuspöytien sekä jigien hankintaa. Hankinnat ovat kehitysehdotuksia, mutta niiden toteutus jää projektiryhmälle. Hankintojen avulla saatavat hyödyt ovat merkittäviä työergonomian kannalta.

Nostimia tarvitaan raskaiden kondensaattoripakettien nostamiseen sekä valmiin moduulin nostamiseen loppukokoonpanoalustalta moduulin siirtoalustalle. Nostot ovat hyvin eriytyisiä, joten molempiin olisi hyvä hankkia omat nostimensa.

Uudet renkaiden päällä liikkuvat asennuspöydät helpottavat moduuleiden siirtämistä loppukokoonpanossa työpisteeltä toiselle. Pöytien hankinnassa tulee ottaa huomioon myös työergonomia säädettävän työasennon muodossa.

Jigit tarvitaan uuden protovaiheessa olevan tuotteen C kaksipuolisen kondensaattoripaketin asennuksen apuvälineeksi. Jigin avulla paketti saadaan käännettyä turvallisesti ja ergonomisesti.

9 Yhteenveto ja päätelmät

Työn yhteenvedossa ja päätelmissä käydään läpi työn kuvaus ja onnistuminen sekä kehittämiskohteet ja jatkotoimenpiteet.

9.1 Kuvaus työstä

Työn tavoitteena oli taajuusmuuttajien kokoonpanolinjan uudistusehdotus, jossa suunnitellaan uuden kokoonpanolinjan vaiheistus loppukokoonpanoon, sekä kartoitetaan tarvittavien osakokoonpanotyöpisteiden määrä.

Työssä tutkittiin myös viiden toisistaan poikkeavan taajuusmuuttajamoduulimallin soveltuvuutta valmistettavaksi samalla linjalla. Tuotteiden valmistuksessa havaituista ongelmakohtista pyrittiin tekemään havaintoja ja kehitysehdotuksia.

9.2 Työn onnistuminen

Työ täytti sille asetetut tavoitteet, joten työtä voidaan pitää onnistuneena. ABB:llä oltiin myös tyytyväisiä työn lopputulokseen.

9.3 Kehittämiskohteet ja jatkotoimenpiteet

Työn tuloksia voidaan käyttää suunnitellusti kokoonpanolinjan muutosprojektin osana. Projektia voidaan jatkaa layout-suunnittelun muodossa työn vaiheistusehdotusten pohjalta. Myös työssä tehtyjen kehitysehdotusten toteuttamista voidaan alkaa suunnittelemaan.

Protovaiheen tuotteen C lähestyessä sarjatuotantovaihetta tulee moduulin vaiheistusehdotus tarkentaa. Tarkennusten jälkeen sekä työstä saatujen tulosten pohjalta voidaan suunnitella lopullinen vaiheistus moduulille.

Lähteet

1. ABB Oy. Verkkodokumentti.
<<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/>>. Luettu 11.9.2015.
2. ABB Oy. Verkkodokumentti.
<<http://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/drives-and-controls/>>. Luettu 11.9.2015.
3. ABB Oy. Verkkodokumentti.
<http://www.auser.fi/data/attachments/FI_ACS800singledrivescatalogREVK.pdf>. Luettu 11.9.2015.
4. Liker, J. 2010. Toyotan tapaan. Jyväskylä: WS Bookwell Oy.
5. Quality Knowhow Karjalainen Oy. Verkkodokumentti.
<<http://www.sixsigma.fi/fi/lean/lean/>>. Luettu 9.10.2015.
6. Modig, N., Åhlström, P. 2013. Tätä on Lean. Halmstad: Bulls graphics Ab.
7. Breezetre. Verkkodokumentti.
< <http://www.breezetre.com/value-stream-mapping.htm>>. Luettu 15.10.2015.
8. Quality Knowhow Karjalainen Oy. Verkkodokumentti.
<<http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/vsm-value-stream-mapping-arvovirtakuvaus/>>. Luettu 5.10.2015.
9. ABB:n sisäinen tietokanta. Intranet.
10. Logistiikan maailma. Verkkodokumentti.
<[http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/JIT_\(Just-in-time\)_ja_imuohjaus](http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/JIT_(Just-in-time)_ja_imuohjaus)>. Luettu 9.10.2015.
11. Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I., Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. Tampere: Hämeen Kirjapaino Oy
12. Kontkanen, T. 2015. Tuotannonsuunnittelun päällikkö, ABB Oy, Helsinki. Haastattelu 26.10.2015